



(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2018/129379**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2018 000 150.4**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2018/012666**
(86) PCT-Anmeldetag: **05.01.2018**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **12.07.2018**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **01.08.2019**

(51) Int Cl.: **H01J 37/317 (2006.01)**
H01J 37/28 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
62/444,188 09.01.2017 US

(72) Erfinder:
**Gwinn, Matthew C., Billerica, MA, US; Tabat,
Martin D., Billerica, MA, US; Regan, Kenneth,
Billerica, MA, US; Leith, Allen J., Billerica, MA,
US; Graf, Michael, Billerica, MA, US**

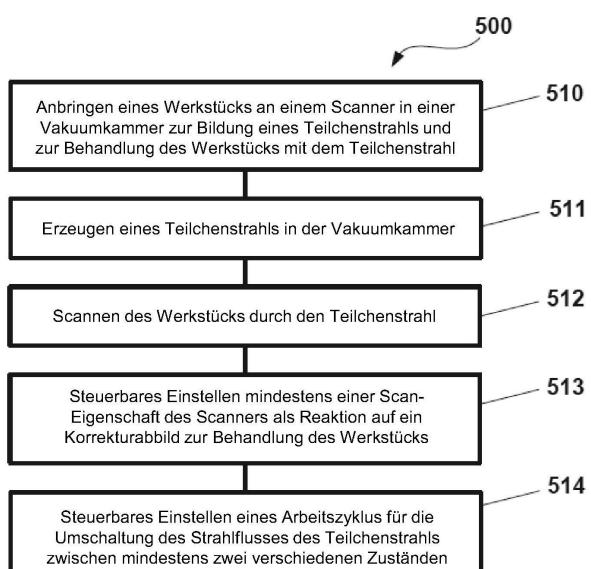
(71) Anmelder:
TEL Epion Inc., Billerica, Mass., US

(74) Vertreter:
**BOEHMERT & BOEHMERT Anwaltspartnerschaft
mbB - Patentanwälte Rechtsanwälte, 80336
München, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **KOMPENSIERTE POSITIONSSPEZIFISCHE BEARBEITUNGSVORRICHTUNG UND VERFAHREN**

(57) Zusammenfassung: Hierin beschrieben sind eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bearbeitung eines Werkstücks mittels eines Strahls. Die Vorrichtung umfasst eine Vakuumkammer mit einer Strahlführung zur Bildung eines Teilchenstrahls und zur Behandlung eines Werkstücks mit dem Teilchenstrahl und einen Scanner zum Verschieben des Werkstücks durch den Teilchenstrahl. Die Vorrichtung umfasst ferner eine Scannersteuerschaltung, die mit dem Scanner gekoppelt ist und eingerichtet ist, eine Scan-Eigenschaft des Scanners zu steuern, und eine Strahlsteuerschaltung, die mit mindestens einer Strahlführungsrichtungskomponente gekoppelt ist und eingerichtet ist, den Strahlfluss des Teilchenstrahls gemäß einem Arbeitszyklus für das Schalten zwischen mindestens zwei verschiedenen Zuständen während Bearbeitung zu steuern.



Beschreibung

VERWEIS AUF VERWANDTE ANMELDUNGEN

[0001] Diese Anmeldung bezieht sich auf die US Provisional-Patentanmeldung mit der Anmeldenummer 62/444,188, eingereicht am 9. Januar 2017, beansprucht deren Priorität und umfasst deren gesamten Inhalt durch Verweis.

TECHNISCHES GEBIET

[0002] Die Erfindung bezieht sich allgemein auf das technische Gebiet der Materialbearbeitung und Herstellung elektronischer Geräte und, insbesondere aber nicht ausschließlich, auf die räumliche Bearbeitung verschiedener Werkstückattribute.

TECHNISCHER HINTERGRUND

STAND DER TECHNIK

[0003] In der Herstellung von elektronischen Vorrichtungen, einschließlich akustischer Oberflächenwellen- (surface wave acoustic, SAW) Vorrichtungen für Hochfrequenz- (RF) Filteranwendungen, steigt der Bedarf für eine hochentwickelte Präzisionssteuerung von Merkmalsattributen quer durch Werkstücke einer Vorrichtung rasant an, um die Anforderungen an Produktivität und Ertrag zu erfüllen. Derzeitige Methodiken, einschließlich Strahlbearbeitungssysteme wie Nicht-Strahlbearbeitungssysteme, wie beispielsweise räumlich gesteuerte Plasma- und Nichtplasmabearbeitungssysteme, werden für hochentwickelte korrektive Bearbeitungsmodelle in Betracht gezogen.

[0004] Zum Beispiel ist die positionsspezifische Bearbeitung durch Teilchenstrahlbearbeitung, einschließlich geladener Teilchenstrahlen, ein hochpräzises Verfahren zur Korrektur von Ungleichmäßigkeit von Merkmalsattributen quer durch das Werkstück. Unter der Voraussetzung, dass positionsauflöste Merkmalsattributdaten, wie beispielsweise eine Merkmalshöhe oder Merkmalsdicke, welche an mehreren Positionen eines Werkstücks gemessen sind, bereitgestellt sind, kann ein positionsspezifisches Bearbeitungsschema angewendet werden, um Abweichungen der Merkmalsattributdaten innerhalb tolerierbarer oder akzeptabler Grenzen zu korrigieren.

KURZER UMRISS DER ERFINDUNG

[0005] Ausführungsformen der Erfindung beziehen sich allgemein auf das technische Gebiet der Materialbearbeitung und Herstellung elektronischer Geräte und, insbesondere aber nicht ausschließlich, auf die räumliche Bearbeitung verschiedener Werkstückattribute. Insbesondere werden eine Vorrichtung und

ein Verfahren beschrieben, die eine komensierte positionsspezifische Bearbeitung anwenden. Hierin werden unter anderem die ScanGeschwindigkeit und der Strahl-Arbeitszyklus angepasst, um eine positionsspezifische Bearbeitung eines Werkstücks durchzuführen.

[0006] Gemäß einer Ausführungsform werden eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bearbeitung eines Werkstücks mithilfe eines Strahls beschrieben. Die Vorrichtung umfasst eine Vakuumkammer mit einer Strahlführung zur Bildung eines Teilchenstrahls und zur Behandlung eines Werkstücks mit dem Teilchenstrahl und einen Scanner zum Verschieben des Werkstücks durch den Teilchenstrahl. Die Vorrichtung umfasst ferner eine Scannersteuerschaltung, die mit dem Scanner gekoppelt ist und zum Steuern einer Scan-Eigenschaft des Scanners eingerichtet ist, und eine Strahlsteuerschaltung, die mit mindestens einer Strahlführungskomponente gekoppelt ist und zum Steuern des Strahlflusses des Teilchenstrahls gemäß einem Arbeitszyklus für das Schalten zwischen mindestens zwei verschiedenen Zuständen während Bearbeitung eingerichtet ist.

[0007] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird ein Verfahren zur Bearbeitung eines Werkstücks mit einem Teilchenstrahl beschrieben. Das Verfahren umfasst: Anbringen eines Werkstücks an einem Scanner in einer Vakuumkammer zur Bildung eines Teilchenstrahls und zur Behandlung des Werkstücks mit dem Teilchenstrahl; Erzeugen eines Teilchenstrahls in der Vakuumkammer; Scannen des Werkstücks durch den Teilchenstrahl; steuerbares Einstellen mindestens einer Scan-Eigenschaft des Scanners als Reaktion auf ein Korrekturabbild für die Behandlung des Werkstücks; und, wenn vorbestimmte Scan-Eigenschaftsgrenzen erreicht sind, steuerbares Einstellen eines Arbeitszyklus für das Umschalten des Strahlflusses des Teilchenstrahls zwischen mindestens zwei verschiedenen Zuständen.

Figurenliste

[0008] In den Zeichnungen:

Fig. 1 ist eine Veranschaulichung eines Strahlbearbeitungssystems gemäß einer Ausführungsform;

Fig. 2A und **Fig. 2B** veranschaulichen Verfahren zur Bearbeitung eines Werkstücks gemäß einer Ausführungsform;

Fig. 3A und **Fig. 3B** veranschaulichen Verfahren zur Bearbeitung eines Werkstücks gemäß einer anderen Ausführungsform;

Fig. 4 ist eine Veranschaulichung eines korrekiven Bearbeitungssystems gemäß einer Ausführungsform;

Fig. 5 ist ein Flussdiagramm zur Veranschaulichung eines Verfahrens zur Bearbeitung eines Werkstücks gemäß einer anderen Ausführungsform; und

Fig. 6 veranschaulicht eine Anwendung von Arbeitszyklus-kompensierter Bearbeitung gemäß einer weiteren Ausführungsform.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG VON MEHREREN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0009] Hierin werden Verfahren und Systeme zum Durchführen von korrekter Bearbeitung eines Werkstücks in verschiedenen Ausführungsformen beschrieben. Der Fachmann wird erkennen, dass die verschiedenen Ausführungsformen ohne eine oder mehrere Einzelheiten, oder mit anderem Ersatz und/oder zusätzlichen Verfahren, Materialien oder Komponenten verwirklicht werden können. In weiteren Beispielen werden wohlbekannte Strukturen, Materialien oder Vorgänge nicht in Detail gezeigt oder beschrieben, um eine unklare Darstellung von Aspekten verschiedener Ausführungsformen der Erfindung zu vermeiden. Ebenso werden zum Zwecke der Erklärung bestimmte Nummern, Materialien und Ausgestaltungen festgelegt, um ein umfassendes Verständnis der Erfindung zu ermöglichen. Nichtsdestotrotz kann die Erfindung ohne spezifische Einzelheiten verwirklicht werden. Des Weiteren versteht es sich, dass die verschiedenen Ausführungsformen, die in den Abbildungen dargestellt sind, veranschaulichende Darstellungen und nicht unbedingt maßstabsgetreu dargestellt sind.

[0010] In der vorliegenden Beschreibung bedeutet der Verweis auf „eine Ausführungsform“, dass ein bestimmtes Merkmal, eine bestimmte Struktur, ein bestimmtes Material oder eine bestimmte Eigenschaft, die in Verbindung mit der Ausführungsform beschrieben wird, in mindestens einer Ausführungsform der Erfindung enthalten ist, jedoch nicht, dass sie in jeder Ausführungsform vorhanden ist. Somit beziehen sich die Verwendungen des Ausdrucks „in einer Ausführungsform“ an verschiedenen Stellen in der vorliegenden Beschreibung nicht unbedingt auf dieselbe Ausführungsform der Erfindung. Des Weiteren können die besonderen Merkmale, Strukturen, Materialien oder Merkmale in einer oder mehreren Ausführungsformen auf geeignete Weise kombiniert werden. Verschiedene zusätzliche Schichten und/oder Strukturen können aufgenommen werden und/oder beschriebene Merkmale können in anderen Ausführungsformen weggelassen werden.

[0011] „Werkstück“, wie hierin verwendet, bezieht sich allgemein auf den Gegenstand, der gemäß der Erfindung bearbeitet wird. Das Werkstück kann jeden Materialabschnitt oder jede Struktur einer Vorrichtung, insbesondere eines Halbleiters oder einer anderen elektronischen Vorrichtung umfassen

und kann beispielsweise eine Basis-Werkstückstruktur, wie beispielsweise ein Halbleiterwafer oder eine Schicht auf oder über einer Basis-Werkstückstruktur, wie beispielsweise ein dünner Film, sein. Daher ist das Werkstück nicht auf eine bestimmte Grundstruktur, darunterliegende Schicht oder darüberliegende Schicht, mit oder ohne ein Muster, beschränkt, sondern es ist vielmehr vorgesehen, dass das Werkstück eine solche Schicht oder Grundstruktur sowie eine beliebige Kombination von Schichten und/oder Grundstrukturen umfasst. Die folgende Beschreibung kann sich auf bestimmte Arten von Werkstücken beziehen; dies dient jedoch nur der Veranschaulichung und nicht der Einschränkung.

[0012] Zur Verbesserung der korrekten Fähigkeit werden Verfahren und Systeme zur Durchführung positionsspezifischer Bearbeitung eines Werkstücks mit erweitertem Dynamikumfang und erweiterter korrekten Fähigkeit gemäß verschiedenen Ausführungsformen beschrieben. Das korrekte Bearbeitungssystem ist ein Strahlbearbeitungssystem, und das korrekte Verfahren umfasst das Erzeugen eines Bearbeitungsteilchenstrahls, wobei das Anwenden des korrekten Verfahrens das Einstrahlen des Bearbeitungsteilchenstrahls entlang eines Strahlscanmusters auf den Zielbereich eines Werkstücks umfasst. Das korrekte Verfahren umfasst ferner das Scannen des Werkstücks durch den Teilchenstrahl, das steuerbare Einstellen mindestens einer Scan-Eigenschaft des Scanners als Reaktion auf ein Korrekturabbild zur Behandlung des Werkstücks und, wenn vorgegebene Scan-Eigenschaftsgrenzen erreicht sind, das steuerbare Einstellen eines Arbeitszyklus für das Umschalten des Strahlflusses des Teilchenstrahls zwischen mindestens zwei verschiedenen Zuständen. Auf diese Weise können Verfahren durchgeführt werden, wenn korrekte Bedingungen, z.B. Scangeschwindigkeit, Gerätebeschränkungen überschreiten, wie beispielsweise eine maximale Scangeschwindigkeit oder maximale Scanbeschleunigung.

[0013] Die hierin beschriebenen Ausführungsformen können auf jede Größe oder jede Form des Werkstücks angewendet werden. Beispielsweise kann das Werkstück ein scheibenförmiges Objekt (oder Wafer) oder ein rechteckiges Objekt (oder Panel) umfassen. Eine seitliche Abmessung des Werkstücks (z.B. Breite, Durchmesser, etc.) kann beispielsweise ca. 100 mm, 200 mm, 300 mm, 450 mm oder größer sein. Die Vorrichtung zum Erzeugen des Teilchenstrahls kann eine Vorrichtung zum Erzeugen eines neutralen Strahls, eines beschleunigten neutralen Strahls, eines geladenen Teilchenstrahls, eines ungeladenen Teilchenstrahls, eines Ionenstrahls, eines Gasclusterstrahls (gas cluster beam, GCB) oder eines Gascluster-Ionenstrahls (gas cluster ion beam, GCIB) oder eines Teils davon oder einer Kombination davon umfassen.

[0014] Es wird nun auf die Zeichnungen Bezug genommen, wobei gleiche Referenznummern entsprechende Teile in den mehreren Ansichten bezeichnen. Wie in **Fig. 1** gezeigt wird ein Gascluster-Ionenstrahl (GCIB)-Bearbeitungssystem **100** gemäß einer Ausführungsform beschrieben. Wie bereits erwähnt kann das Bearbeitungssystem Systeme zum Erzeugen von Teilchenstrahlen mit austauschbarer Zusammensetzung, z.B. neutralen Strahl, Ionenstrahl, geladener Teilchenstrahl, Gasclusterstrahl, etc. umfassen. Während ein System mit einem einzelnen Strahl beschrieben wird, kann das Bearbeitungssystem mehrere Strahlführungen zur Bildung mehrerer Teilchenstrahlen umfassen. Insbesondere umfasst das GCIB-Bearbeitungssystem **100** eine GCIB-Quelle **101** mit einer Düsenanordnung **110**, die zum Einführen eines Primärgases durch die Düsenanordnung **110** in einen Vakuumbehälter **102** eingerichtet ist, um einen Gasclusterstrahl zu erzeugen. Ein Skimmer **112** ist stromabwärts von der Düsenanordnung **110** angeordnet und ist eingerichtet, einen Umfangsabschnitt des Gasclusterstrahls abzulenken oder „abzuschöpfen“.

[0015] Das GCIB-Bearbeitungssystem **100** umfasst einen Ionisator **131** zum Ionisieren eines Teils des Gasclusterstrahls und zur Bildung eines Gascluster-Ionenstrahls, eine Beschleunigungselektrodenanordnung **133** zum Beschleunigen des Gascluster-Ionenstrahls und einen Strahlfilter **137** zum Filtern oder zum Entfernen eines Teils des Gascluster-Ionenstrahls. Das GCIB-Bearbeitungssystem **100** kann auch einen Neutralisator (nicht dargestellt) zum Neutralisieren der Ladung in dem Strahl umfassen.

[0016] Das GCIB-Bearbeitungssystem **100** umfasst weiterhin einen Werkstückhalter **150**, auf dem ein zu bearbeitendes Werkstück **152** befestigt und innerhalb des Vakuumbehälters **102** unter Verwendung von Scanner **184** und Scan-Arm **182** gescannt wird. Eine Scannersteuerschaltung **180** ist mit dem Scanner **184** gekoppelt und eingerichtet, eine Scan-Eigenschaft des Scanners **184** zu steuern. Die Scan-Eigenschaft kann eine Scangeschwindigkeit, einen Scanpfad, eine Scanbeschleunigung, eine Scanposition oder eine beliebige Kombination von zwei oder mehr davon umfassen.

[0017] Vakuumbehälter **102** umfasst drei miteinander verbundene Kammern, nämlich eine Quellkammer **104**, eine Ionisations-/Beschleunigungskammer **106** und eine Bearbeitungskammer **108**, um eine Niederdruck-Einhäusung bereitzustellen. Die drei Kammern werden durch ein oder mehrere Vakuumpumpensysteme auf geeignete Betriebsdrücke evakuiert. In den drei miteinander verbundenen Kammern **104**, **106**, **108** kann ein Gasclusterstrahl in der ersten Kammer (Quellkammer **104**) gebildet werden, während ein GCIB in der zweiten Kammer (Ionisations-/Beschleunigungskammer **106**) gebildet werden kann,

wobei der Gasclusterstrahl ionisiert und beschleunigt wird. Anschließend kann der beschleunigte GCIB in der dritten Kammer (Bearbeitungskammer **108**) zur Behandlung des Werkstücks **152** verwendet werden. Der Vakuumbehälter **102** kann auch eine Druckzellenkammer **155** umfassen. Die Druckzellenkammer **155** ist mit einer Zellgasquelle **151** einschließlich Zellgasversorgungssystems **153** und Zellgassteuerung **157** gekoppelt, die der Druckzellenkammer **155** ein Hintergrundgas, wie beispielsweise ein Inertgas, zur Erhöhung des Drucks in der Druckzellenkammer **155** zuführt.

[0018] Das GCIB-Bearbeitungssystem **100** kann optional eine Sekundärgasquelle (**125**, **135**, **145**) umfassen, wobei die Sekundärgasquelle (**125**, **135**, **145**) ein Sekundärgasversorgungssystem (**122**, **132**, **142**), das ein Sekundärgas liefert, und eine Sekundärgassteuerung (**120**, **130**, **140**) umfasst, die den Fluss des in das GCIB-Verarbeitungssystem **100** eingeleiteten Sekundärgases stromabwärts der Düsenanordnung **110** operativ steuert. In einer Ausführungsform ist die Sekundärgasquelle **125** eingerichtet, das Sekundärgas stromabwärts des Ausgangs **111** der Düsenanordnung **110** in die Quellkammer **104** zu leiten. In einer weiteren Ausführungsform ist die Sekundärgasquelle **135** eingerichtet, das Sekundärgas stromabwärts eines Skimmers **112** in die Ionisations-/Beschleunigungskammer **106** zu leiten. In einer weiteren Ausführungsform ist die Sekundärgasquelle **145** eingerichtet, das Sekundärgas stromabwärts einer Endöffnung **160** in die Verarbeitungskammer **108** zu leiten. In einer weiteren Ausführungsform kann jede beliebige Kombination der zweiten Sekundärgasquelle (**125**, **135**, **145**) verwendet werden.

[0019] In einer weiteren Ausführungsform ist die Sekundärgasquelle **145** eingerichtet, das Sekundärgas stromabwärts der Endöffnung **160** in die Verarbeitungskammer **108** und entlang eines Pfades, der den GCIB an einer Stelle überkreuzt, welche von der freiliegenden Oberfläche des Werkstücks **152** um einen Trennungsabstand **170** beabstandet ist (beispielsweise wird das Sekundärgas in die Verarbeitungskammer **108** auf einen oder in die Nähe eines Einschlagbereichs des GCIB auf dem Substrat geleitet). Der Trennungsabstand **170** kann ein Abstand von weniger als 10 mm, weniger als 5 mm, weniger als 2 mm oder im Wesentlichen Null sein (das Sekundärgas kann ein Düsenstrahl oder ein Strahl sein, der den GCIB an der freiliegenden Oberfläche des Substrats überkreuzt).

[0020] Die Sekundärgassteuerung (**120**, **130**, **140**) kann mit einem oder mehreren Flussregelventilen, Strömungssensoren oder Drucksensoren gekoppelt werden. Und die Sekundärgassteuerung (**120**, **130**, **140**) kann einen Druck (z.B. Gesamt-/Staudruck), unter welchem das Sekundärgas eingeleitet wird, oder

eine Flussrate des Sekundärgases oder Kombination davon steuern.

[0021] Weitere Einzelheiten zur Gestaltung eines Gascluster-Ionenstrahlsystems sind in der US-Patentanmeldung Nr. 2010/0193701 A1 mit dem Titel „Multiple Nozzle Gas Cluster Ion Beam System“, eingereicht am 23. April 2009, und in der US-Patentanmeldung Nr. 2010/0193472 A1 mit dem Titel „Multiple Nozzle Gas Cluster Ion Beam Processing System and Method of Operating“, eingereicht am 26. März 2010, enthalten, deren Inhalt hierin durch Verweis in ihrer Gesamtheit aufgenommen wurde.

[0022] Das GCIB-Bearbeitungssystem **100** umfasst ferner eine Strahlsteuerschaltung **185**, die mit mindestens einer Strahlführungskomponente, wie beispielsweise dem Ionisator **131** und/oder der Beschleunigungselektrodenanordnung **133**, gekoppelt und eingerichtet ist, den Strahlfluss des Teilchenstrahls gemäß einem Arbeitszyklus für das Schalten zwischen mindestens zwei verschiedenen Zuständen während Bearbeitung zu steuern. Die Strahlsteuerschaltung **185** kann den Teilchenstrahl zwischen einem im Wesentlichen eingeschalteten Zustand und einem im Wesentlichen ausgeschalteten Zustand umschalten, wobei der Strahlfluss für den eingeschalteten Zustand deutlich größer sein kann als für den Ausschaltzustand.

[0023] Wie vorstehend erwähnt kann die Strahlsteuerschaltung **185** mit dem Ionisator **131** gekoppelt werden, wobei der Ionisator **131** gesteuert werden kann, um den Teilchenstrahl zwischen einem geladenen Zustand und einem ungeladenen Zustand umzuschalten. In einer Ausführungsform kann die Strahlsteuerschaltung **185** den Elektronenfluss steuern, der von dem Ionisator **131** ausströmt und den Teilchenstrahl überkreuzt. Beispielsweise kann die Steuerung der Spannung an einer Austrittselektrode des Ionisators **131** dieses Ziel erreichen. Das an die Austrittselektrode angelegte Spannungssignal kann ein Spannungszittersignal umfassen. Das Spannungszittersignal kann eine beliebige Wellenform einschließlich einer Rechteckwelle sein.

[0024] Alternativ und gemäß einer weiteren Ausführungsform kann die Strahlsteuerschaltung **185** mit der Beschleunigungselektrodenanordnung **133** gekoppelt werden, wobei die Beschleunigungselektrodenanordnung **133** gesteuert wird, um den Teilchenstrahl zwischen mindestens zwei verschiedenen beschleunigten Zuständen umzuschalten. Alternativ und gemäß einer weiteren Ausführungsform kann die Strahlsteuerschaltung **185** mit einer Teilchenstrahlablenkelektrode (nicht dargestellt) gekoppelt werden, wobei die Strahlablenkelektrode gesteuert wird, um den Teilchenstrahl zwischen mindestens zwei Ablenkzuständen umzuschalten, die einen überkreuzenden Zustand und einen nicht überkreuzen-

den Zustand mit dem Werkstück umfassen. Alternativ und gemäß einer weiteren Ausführungsform kann die Strahlsteuerschaltung **185** mit einem Strahltor (nicht dargestellt) gekoppelt werden, wobei das Strahltor gesteuert wird, um den Teilchenstrahl zwischen einem Strahltor-versperrten Zustand und einem Strahltor-unversperrten Zustand umzuschalten.

[0025] Die Strahlsteuerschaltung **185** kann den Strahl zwischen mindestens zwei verschiedenen Zuständen steuern, wobei die mindestens zwei verschiedenen Zustände einen eingeschalteten Zustand und einen ausgeschalteten Zustand umfassen. Die mindestens zwei verschiedenen Zustände können zwei verschiedene Strahlflüsse sein, einschließlich eines Strahlflusses ungleich Null und eines Strahlflusses gleich oder nahe Null.

[0026] Unter Bezugnahme nun auf **Fig. 2A** und **Fig. 2B** wird ein erstes Beispiel zur Erweiterung des dynamischen Bereichs des Bearbeitungssystems beschrieben. **Fig. 2A** zeigt ein Diagramm **200** mit Scangeschwindigkeit **210** (y-Achse rechts) und Arbeitszyklus **220** (y-Achse links) gegen die Zeit. Wie in **Fig. 2A** dargestellt kann die Scannersteuerschaltung eine maximale Scangeschwindigkeit **215** erreichen, wenn ein Korrekturabbild auf ein Werkstück angewendet wird. Einige Bereiche des Werkstücks erfordern möglicherweise mehr Bearbeitung, während andere Bereiche des Werkstücks weniger Bearbeitung erfordern. Um eine geringere Bearbeitung eines Bereichs auf dem Werkstück zu erreichen, wird das Werkstück mit einer höheren Scangeschwindigkeit gescannt, so dass der Bereich, der eine geringere Bearbeitung erfordert, für eine kürzere Dauer dem Strahl ausgesetzt wird. **Fig. 2A** veranschaulicht einen Werkstückscan, der auf eine maximale Scangeschwindigkeitsbedingung trifft (z.B. die gewünschte Bedingung überschreitet die maximale Scangeschwindigkeit und führt zu einem gedeckelten tatsächlichen Zustand).

[0027] Um das Erreichen der maximalen Scangeschwindigkeit auszugleichen, verringert die Strahlsteuerschaltung **185** den Arbeitszyklus für die Umschaltung des Strahlflusses zwischen mindestens zwei verschiedenen Zuständen als Reaktion auf das Erreichen der maximalen Scangeschwindigkeit. **Fig. 2B** zeigt ein Diagramm **250** mit Scangeschwindigkeit **260** (y-Achse rechts) und Arbeitszyklus **270** (y-Achse links) gegen die Zeit. Wie in **Fig. 2B** dargestellt kann die Scannersteuerschaltung eine maximale Scangeschwindigkeit **265** erreichen, wenn ein Korrekturabbild auf ein Werkstück angewendet wird. Dadurch wird der Arbeitszyklus von 100% (Strahlfluss bei konstant eingeschaltetem Zustand) auf weniger als 100% (Strahlfluss geschaltet zwischen eingeschaltetem Zustand und ausgeschaltetem Zustand bei netto weniger als 100% eingeschalteten Zustands) reduziert. Beispielsweise kann der Arbeits-

zyklus auf 80% reduziert werden, wobei der Strahlfluss ungleich Null für 80% einer Bearbeitungszeitdauer und im Wesentlichen Null für 20% der Bearbeitungszeitdauer ist.

[0028] Unter Bezugnahme nun auf **Fig. 3A** und **Fig. 3B** wird ein zweites Beispiel zur Erweiterung des dynamischen Bereichs des Bearbeitungssystems beschrieben. **Fig. 3A** zeigt ein Diagramm **300** mit Scangeschwindigkeit **310** (y-Achse rechts) und Arbeitszyklus **320** (y-Achse links) gegen die Zeit. Wie in **Fig. 3A** dargestellt kann die Scannersteuerschaltung eine maximale Scanbeschleunigung **325** erreichen, wenn ein Korrekturabbild auf ein Werkstück angewendet wird. Einige Bereiche des Werkstücks erfordern möglicherweise mehr Bearbeitung, während andere Bereiche des Werkstücks weniger Bearbeitung erfordern, und die Korrekturgradienten (zeitliche Änderungsrate der Scangeschwindigkeit, die mit der räumlichen Änderungsrate von Merkmalsattribut an dem Werkstück korreliert) können hohe Beschleunigungs- und Verzögerungsraten erfordern. Um eine geringere Bearbeitung eines Bereichs an dem Werkstück zu erreichen, in dem große Korrekturgradienten vorhanden sind, wird das Werkstück mit einer höheren Scanbeschleunigung und Scangeschwindigkeit gescannt, so dass der Bereich, der weniger Bearbeitung erfordert, für eine kürzere Dauer dem Strahl ausgesetzt wird. **Fig. 3A** veranschaulicht einen Werkstückscan, der auf eine maximale Scanbeschleunigungsbedingung trifft (z.B. die gewünschte Bedingung überschreitet die maximale Scangeschwindigkeit und führt zu einem gedeckelten tatsächlichen Zustand).

[0029] Um das Erreichen der maximalen Scanbeschleunigungsgeschwindigkeit auszugleichen, verringert die Strahlsteuerschaltung **185** den Arbeitszyklus für das Schalten des Strahlflusses zwischen mindestens zwei verschiedenen Zuständen als Reaktion auf das Erreichen der maximalen Scanbeschleunigung. **Fig. 3B** zeigt ein Diagramm **350** mit Scangeschwindigkeit **360** (y-Achse rechts) und Arbeitszyklus **370** (y-Achse links) gegen die Zeit. Wie in **Fig. 3B** dargestellt kann die Scannersteuerschaltung eine maximale Scanbeschleunigung **365** oder eine maximale Scanbeschleunigung **325** erreichen, wenn ein Korrekturabbild auf ein Werkstück angewendet wird. Dadurch wird der Arbeitszyklus von 100% (Strahlfluss bei konstant eingeschaltetem Zustand) auf weniger als 100% (Strahlfluss geschaltet zwischen eingeschaltetem Zustand und ausgeschaltetem Zustand bei netto weniger als 100% eingeschalteten Zustands) reduziert. Beispielsweise kann der Arbeitszyklus auf 80% reduziert werden, wobei der Strahlfluss ungleich Null für 80% einer Bearbeitungszeitdauer und im Wesentlichen Null für 20% der Bearbeitungszeitdauer ist.

[0030] Weiterhin umfasst das GCIB-Bearbeitungssystem **100** eine Steuereinheit **190**, die programmierbar eingerichtet ist, die Scannersteuerschaltung **180** und die Strahlsteuerschaltung **185** anzusteuern und den dynamischen Bereich der Strahlbearbeitung als Reaktion auf ein Korrekturabbild zu erweitern, welches Steuerungsdaten zur Änderung räumlich unterschiedlicher Oberflächeneigenschaften des Werkstücks (d.h. Werkstückattribute) definiert.

[0031] **Fig. 5** zeigt ein Flussdiagramm **500**, das ein Verfahren zum Bearbeiten eines Werkstücks mit einem Teilchenstrahl gemäß einer Ausführungsform veranschaulicht, und **Fig. 4** zeigt eine Veranschaulichung eines korrekten Bearbeitungssystems gemäß einer Ausführungsform.

[0032] Das in Flussdiagramm **500** dargestellte Verfahren beginnt bei **510** mit dem Anbringen eines Werkstücks an einem Scanner in einer Vakuumkammer zur Bildung eines Teilchenstrahls und zur Behandlung des Werkstücks mit dem Teilchenstrahl. Bei **520** wird in der Vakuumkammer ein Teilchenstrahl erzeugt und bei **530** wird das Werkstück durch den Teilchenstrahl gescannt. Bei **540** wird mindestens eine Scan-Eigenschaft des Scanners als Reaktion auf ein Korrekturabbild zur Behandlung des Werkstücks steuerbar eingestellt. Und bei **550** wird, wenn vorgegebene Scan-Eigenschaftsgrenzen erreicht sind, ein Arbeitszyklus steuerbar eingestellt, um den Strahlfluss des Teilchenstrahls zwischen mindestens zwei verschiedenen Zuständen umzuschalten.

[0033] Um mindestens eine Scan-Eigenschaft des Scanners und den Arbeitszyklus für den Teilchenstrahl steuerbar einzustellen, wird ein Korrekturabbild zur räumlichen Änderung eines gemessenen Attributs des Werkstücks berechnet. Es beginnt mit dem Empfangen eines Satzes parametrischer Daten von einer Datenquelle, die sich diagnostisch auf mindestens einen Teil des Werkstücks bezieht. Das Werkstück kann beispielsweise ein Substrat einer elektronischen Vorrichtung, ein HF-Filtersubstrat, ein Halbleitersubstrat oder eine Flachbildschirmanzeige oder eine Flachbildschirmvorrichtung umfassen.

[0034] Die Datenquelle, die den Satz parametrischer Daten umfasst, kann Daten bereitstellen, die an dem Werkstück oder an einem anderen Werkstück gemessen wurden. Beispielsweise umfasst der Satz parametrischer Daten Daten aus einem HF-Filter-Messsatz. Der Satz parametrischer Daten, einschließlich des gemessenen Attributs, kann mithilfe eines Metrologie-Systems erfasst werden, das mit einem korrekten Bearbeitungssystem gekoppelt ist, entweder in-situ oder ex-situ. Das Metrologie-System kann jede Art von Werkstückdiagnosesystem umfassen, einschließlich, aber nicht beschränkt auf, geometrischer, mechanischer, optischer und/oder elektrischer Prüf-/

Metrologie-Systeme. Beispielsweise kann das Metrologie-System optisch-digitale Profilometrie (ODP), Scatterometrie, Ellipsometrie, Reflektometrie, Interferometrie, Röntgenfluoreszenzspektroskopie, Rasterelektronenmikroskopie (REM), Tunnel elektronenmikroskopie (TEM), Rasterkraftmikroskopie (AFM) oder Vierpunktsondenabtastung oder eine Kombination aus zwei oder mehr davon umfassen.

[0035] Das Metrologie-System kann beispielsweise ein optisches Scatterometriesystem darstellen. Das Scatterometriesystem kann einen Scatterometer umfassen, das die Strahlprofil-Ellipsometrie (Ellipsometer) und die Strahlprofil-Reflektometrie (Reflektometer) umfasst, im Handel erhältlich bei Therma-Wave, Inc. (1250 Reliance Way, Fremont, CA 94539) oder Nanometrics, Inc. (1550 Buckeye Drive, Milpitas, CA 95035). Zusätzlich kann das in-situ Metrologie-System beispielsweise ein integriertes Scatterometriemodul für die optischdigitale Profilometrie (iODP) umfassen, das zum Messen von Metrologie-Daten an einem Werkstück eingerichtet ist.

[0036] Der Satz parametrischer Daten kann an zwei oder mehr Positionen am Werkstück gemessen werden. Des Weiteren können diese Daten für ein oder mehrere Werkstücke erfasst und gesammelt werden. Das eine oder die mehreren Werkstücke können beispielsweise eine Kassette von Werkstücken umfassen. Der Satz parametrischer Daten wird an zwei oder mehr Positionen an mindestens einem der ein oder mehreren Werkstücke gemessen und kann beispielsweise an einer Vielzahl von Positionen an jedem der ein oder mehreren Werkstücke erfasst werden. Danach kann die Vielzahl von Positionen an jedem der Vielzahl von Werkstücken unter Verwendung eines Datenanpassungsalgorithmus von gemessenen Positionen zu ungemessenen Positionen erweitert werden. Beispielsweise kann der Datenanpassungsalgoritmus Interpolation (linear oder nichtlinear) oder Extrapolation (linear oder nichtlinear) oder eine Kombination davon umfassen.

[0037] Darüber hinaus kann die Datenquelle, die den Satz parametrischer Daten umfasst, auch simulierte Daten oder empirisch bestimmte Daten umfassen. Beispielsweise können die simulierten Daten Rechenmodell-generierte Daten beinhalten. Zusätzlich können die empirisch bestimmten Daten beispielsweise Daten umfassen, die aus früheren Erfahrungen, Experimenten, Beobachtungen, Messungen oder Simulationen generiert oder zusammengestellt wurden.

[0038] Der Satz parametrischer Daten kann geometrische, mechanische, elektrische und/oder optische Parameter umfassen, die dem Werkstück zugeordnet sind, jede Schicht oder Unterschicht, die auf dem Werkstück gebildet wird, und/oder jeden Abschnitt einer Vorrichtung auf dem Werkstück. Zum

Beispiel kann das gemessene Attribut eine Filmdicke, eine Oberflächenrauhigkeit und/oder Grenzflächenrauhigkeit, eine Oberflächenkontamination, eine Merkmalstiefe, eine Grabentiefe, eine Durchführungstiefe, eine Merkmalsbreite, eine, eine Grabenbreite, eine Durchführungsbreite, eine kritische Abmessung (critical dimension, CD), eine Oberflächenrauhigkeit oder einen elektrischen Widerstand oder eine Kombination von zwei oder mehreren davon umfassen.

[0039] Mithilfe des Bearbeitungssystems zur Behandlung des Werkstücks mit dem Teilchenstrahl kann eine angewandte Eigenschaft der korrekiven Bearbeitung, d.h. mindestens einer Scan-Eigenschaft des Scanners und eines Arbeitszyklus des Teilchenstrahls, räumlich moduliert werden, zumindest teilweise basierend auf den parametrischen Daten, in Abhängigkeit von der Position auf dem Werkstück, um ein gewünschtes Profil eines Werkstückattributs zu erreichen. Die korrektive Behandlung kann einen Ätzprozess, einen Depositionsprozess, einen Wachstumsprozess, einen Glättungsprozess, einen Dotierungsprozess, einen Modifikationsprozess oder eine beliebige Kombination von zwei oder mehr davon umfassen, um ein gewünschtes Profil eines Werkstückattributs des Werkstücks zu erreichen.

[0040] Wie in **Fig. 4** dargestellt wird, sobald ein Satz parametrischer Daten **400** abgerufen wird, der Satz parametrischer Daten den Berechnungselementen **410, 420** zum Berechnen von Korrekturdaten und zum Generieren der korrekten Bearbeitung zur Verfügung gestellt, einschließlich erster Steuerungsdaten **401** für die mindestens eine Scan-Eigenschaft des Scanners und zweiter Steuerungsdaten **402** für den Arbeitszyklus für den Teilchenstrahl. Die Steuerungseinheit **430** kommuniziert mit und steuert die Scannersteuerschaltung **440** und die Strahlsteuerschaltung **450** über Datensignale und Steuersignale an, um die Steuerungsdaten **401, 402** auszuführen. Datensignale und Steuersignale können zwischen dem Metrologie-System und den Rechenelementen **410, 420** über eine physikalische Verbindung (z.B. ein Kabel) oder eine drahtlose Verbindung oder eine Kombination davon übertragen werden. Zusätzlich können die parametrischen Daten über eine Intranet- oder Internetverbindung übermittelt werden. Alternativ kann die Obermenge der parametrischen Daten zwischen dem Metrologie-System und der Steuereinheit über ein computerlesbares Medium übertragen werden.

[0041] Korrekturdaten werden für die korrekte Bearbeitung des Werkstücks berechnet. Genauer gesagt können die Korrekturdaten unter Verwendung des anfänglichen Profils und des gewünschten Profils für das gemessene Attribut berechnet werden. Die Korrekturdaten für ein gegebenes Werkstück können eine Bearbeitungsbedingung zur Modulation einer Bearbeitungssystemeigenschaft, wie zum Bei-

spiel die Scangeschwindigkeit, den Arbeitszyklus des Teilchenstrahls, die Strahldosis oder andere/zusätzliche Behandlungsparameter (z.B. Temperatur) in Abhängigkeit von der Position auf dem Werkstück umfassen, um einen Wechsel zwischen den parametrischen Daten zu erreichen, welche dem eingehenden anfänglichen Profil und dem gewünschten Profil für das gegebene Werkstück zugeordnet sind. Beispielsweise können die Korrekturdaten für ein gegebenes Werkstück das Bestimmen einer Behandlungsbedingung für die Verwendung des korrekiven Bearbeitungssystems umfassen, um eine Ungleichmäßigkeit der parametrischen Daten für das gegebene Werkstück zu korrigieren. Alternativ können die Korrekturdaten für ein bestimmtes Werkstück beispielsweise das Bestimmen einer Behandlungsbedingung für die Verwendung des korrekiven Bearbeitungssystems umfassen, um eine gezielt beabsichtigte Ungleichmäßigkeit der parametrischen Daten für das jeweilige Werkstück zu erzeugen.

[0042] Fig. 6 veranschaulicht eine Anwendung der Arbeitszyklus-kompensierten Bearbeitung gemäß einer weiteren Ausführungsform. Ein Werkstück **600** wird durch einen Teilchenstrahl gescannt und durch mindestens einen Abschnitt **601** des Werkstücks **600** wird der Teilchenstrahl zwischen mindestens zwei verschiedenen Strahlschaltzuständen, wie beispielsweise einem eingeschalteten Zustand (zum Beispiel „1“) und einem ausgeschalteten Zustand (zum Beispiel „0“) umgeschaltet oder gepulst, wie dargestellt. Der Strahlschaltzustand ist veranschaulicht für vier (4) verschiedene Arbeitszyklen, d.h. einen relativ niedrigen Arbeitszyklus **610**, einen relativ hohen Arbeitszyklus **620**, einen 100%-igen Arbeitszyklus **630** und einen variablen Arbeitszyklus **640**. Die Schaltfrequenz (oder Impulsfrequenz) kann 100 Hz überschreiten und kann von 100 Hz bis 10 kHz oder vorzugsweise von 500 Hz bis 5 kHz reichen.

[0043] In Fig. 2B und Fig. 3B sowie in einem Teil von Fig. 6 ist der Strahlarbeitszyklus auf 100% eingestellt. Es ist jedoch nicht erforderlich, den Strahlarbeitszyklus auf 100% einzustellen und dann entsprechend anzupassen, typischerweise durch Reduzierung des Arbeitszyklus (Fig. 2B und Fig. 3B). Der Strahlarbeitszyklus kann auf einen Wert von weniger als 100% eingestellt werden, so dass eine Erhöhung oder eine Verringerung des Arbeitszyklus möglich ist, um veränderlichen Bearbeitungsbedingungen an einem Werkstück Rechnung zu tragen. Abweichungen des Strahlarbeitszyklus können zyklisch, azyklisch, periodisch, aperiodisch, kontinuierlich oder diskontinuierlich sein. Der Strahlarbeitszyklus kann quer durch das Werkstück diskontinuierlich variieren. Beispielsweise können Teile des Werkstücks mit einem Strahl behandelt werden, der nominell auf 100% Strahlarbeitszyklus eingestellt ist, und andere Teile des Werkstücks mit einem Strahl, der nominell auf einen Strahlarbeitszyklus von 0% eingestellt ist.

[0044] Obwohl vorstehend nur bestimmte Ausführungsformen dieser Erfindung ausführlich beschrieben sind, wird der Fachmann leicht erkennen, dass viele Modifikationen in den Ausführungsformen möglich sind, ohne wesentlich von den neuartigen Lehren und Vorteilen dieser Erfindung abzuweichen. Dementsprechend sollen alle derartigen Modifikationen in den Geltungsbereich dieser Erfindung aufgenommen werden.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 62/444188 [0001]
- US 2010/0193701 A1 [0021]
- US 2010/0193472 A1 [0021]

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Bearbeitung eines Werkstücks mit einem Strahl, umfassend:

eine Vakuumkammer mit einer Strahlführung zur Bildung eines Teilchenstrahls und zur Behandlung eines Werkstücks mit dem Teilchenstrahl;
einen Scanner zum Verschieben des Werkstücks durch den Teilchenstrahl;
eine Scannersteuerschaltung, die mit dem Scanner gekoppelt ist und eingerichtet ist, eine Scan-Eigenschaft des Scanners zu steuern;
eine Strahlsteuerschaltung, die mit mindestens einer Strahlführungskomponente gekoppelt ist und eingerichtet ist, den Strahlfluss des Teilchenstrahls gemäß einem Arbeitszyklus für das Schalten zwischen mindestens zwei verschiedenen Zuständen während Bearbeitung zu steuern.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der Teilchenstrahl einen geladenen Teilchenstrahl oder einen ungeladenen Teilchenstrahl umfasst.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei der Teilchenstrahl einen neutralen Strahl, einen Gasclusterstrahl, einen Gasclusterionenstrahl, einen Elektronenstrahl oder eine Kombination davon umfasst.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Vakuumkammer mehrere Strahlführungen zur Bildung mehrerer Teilchenstrahlen umfasst.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Scan-Eigenschaft eine Scangeschwindigkeit, einen Scanpfad, eine Scanbeschleunigung, eine Scanposition oder jede Kombination von zwei oder mehreren davon umfasst.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, ferner umfassend: eine Steuereinheit, die programmierbar eingerichtet ist, die Scannersteuerschaltung und die Strahlsteuerschaltung zu steuern und den dynamischen Bereich der Strahlbearbeitung als Reaktion auf ein Korrekturabbild zur Änderung räumlich unterschiedlicher Oberflächeneigenschaften des Werkstücks zu erweitern.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Strahlsteuerschaltung den Teilchenstrahl zwischen einem im Wesentlichen eingeschalteten Zustand und einem im Wesentlichen ausgeschalteten Zustand umschaltet, wobei der Strahlfluss für den eingeschalteten Zustand deutlich größer ist als für den ausgeschalteten Zustand.

8. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Strahlsteuerschaltung mit einem Ionisator gekoppelt ist, und wobei der Ionisator angesteuert wird, um den Teilchenstrahl zwischen einem geladenen Zustand und einem ungeladenen Zustand umzuschalten.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei die Strahlsteuerschaltung den Elektronenfluss steuert, der aus dem Ionisator ausströmt und den Teilchenstrahl überkreuzt.

10. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Strahlsteuerschaltung mit einer Beschleunigungselektrode gekoppelt ist, und wobei die Beschleunigungselektrode angesteuert wird, um den Teilchenstrahl zwischen mindestens zwei verschiedenen beschleunigten Zuständen umzuschalten.

11. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Strahlsteuerschaltung mit einer Teilchenstrahlablenkelektrode gekoppelt ist, und wobei die Teilchenstrahlablenkelektrode angesteuert wird, um den Teilchenstrahl zwischen mindestens zwei Ablenkungszuständen umzuschalten, die einen überkreuzenden Zustand und einen nicht überkreuzenden Zustand mit dem Werkstück umfassen.

12. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Strahlsteuerschaltung mit einem Strahltor gekoppelt ist, und wobei das Strahltor angesteuert wird, um den Teilchenstrahl zwischen einem Strahltor-verspererten Zustand und einem Strahltor-unverspererten Zustand umzuschalten.

13. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die mindestens zwei verschiedenen Zustände einen eingeschalteten Zustand und einen ausgeschalteten Zustand umfassen.

14. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Scannersteuerschaltung eine maximale Scangeschwindigkeit erreicht, und wobei die Strahlsteuerschaltung, als Reaktion auf das Erreichen der maximalen Scan-Geschwindigkeit, den Arbeitszyklus für das Schalten des Strahlflusses zwischen mindestens zwei verschiedenen Zuständen verringert.

15. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Scannersteuerschaltung eine maximale Scanbeschleunigung erreicht, und wobei die Strahlsteuerschaltung, als Reaktion auf das Erreichen der maximalen Scanbeschleunigung, den Arbeitszyklus für das Schalten des Strahlflusses zwischen mindestens zwei verschiedenen Zuständen verringert.

16. Verfahren zur Bearbeitung eines Werkstücks mit einem Teilchenstrahl, umfassend:
Anbringen eines Werkstücks an einem Scanner in einer Vakuumkammer zur Bildung eines Teilchenstrahls und zur Behandlung des Werkstücks mit dem Teilchenstrahl;
Erzeugen eines Teilchenstrahls in der Vakuumkammer;
Scannen des Werkstücks durch den Teilchenstrahl;

steuerbares Einstellen mindestens einer Scan-Eigenschaft des Scanners als Reaktion auf ein Korrekturabbild zur Behandlung des Werkstücks; und wenn vorgegebene Scaneigenschaftsgrenzen erreicht sind, steuerbares Einstellen eines Arbeitszyklus für das Umschalten des Strahlflusses des Teilchenstrahls zwischen mindestens zwei verschiedenen Zuständen.

17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei der Teilchenstrahl einen geladenen Teilchenstrahl oder einen ungeladenen Teilchenstrahl umfasst.

18. Verfahren nach Anspruch 16, wobei der Teilchenstrahl einen neutralen Strahl, einen Gasclusterstrahl, einen Gasclusterionenstrahl, einen Elektronenstrahl oder Kombinationen davon umfasst.

19. Verfahren nach Anspruch 16, wobei der Arbeitszyklus steuerbar eingestellt wird, wenn eine maximale Scangeschwindigkeit erreicht ist.

20. Verfahren nach Anspruch 17, wobei der Arbeitszyklus steuerbar eingestellt wird, wenn eine maximale Scanbeschleunigung erreicht ist.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

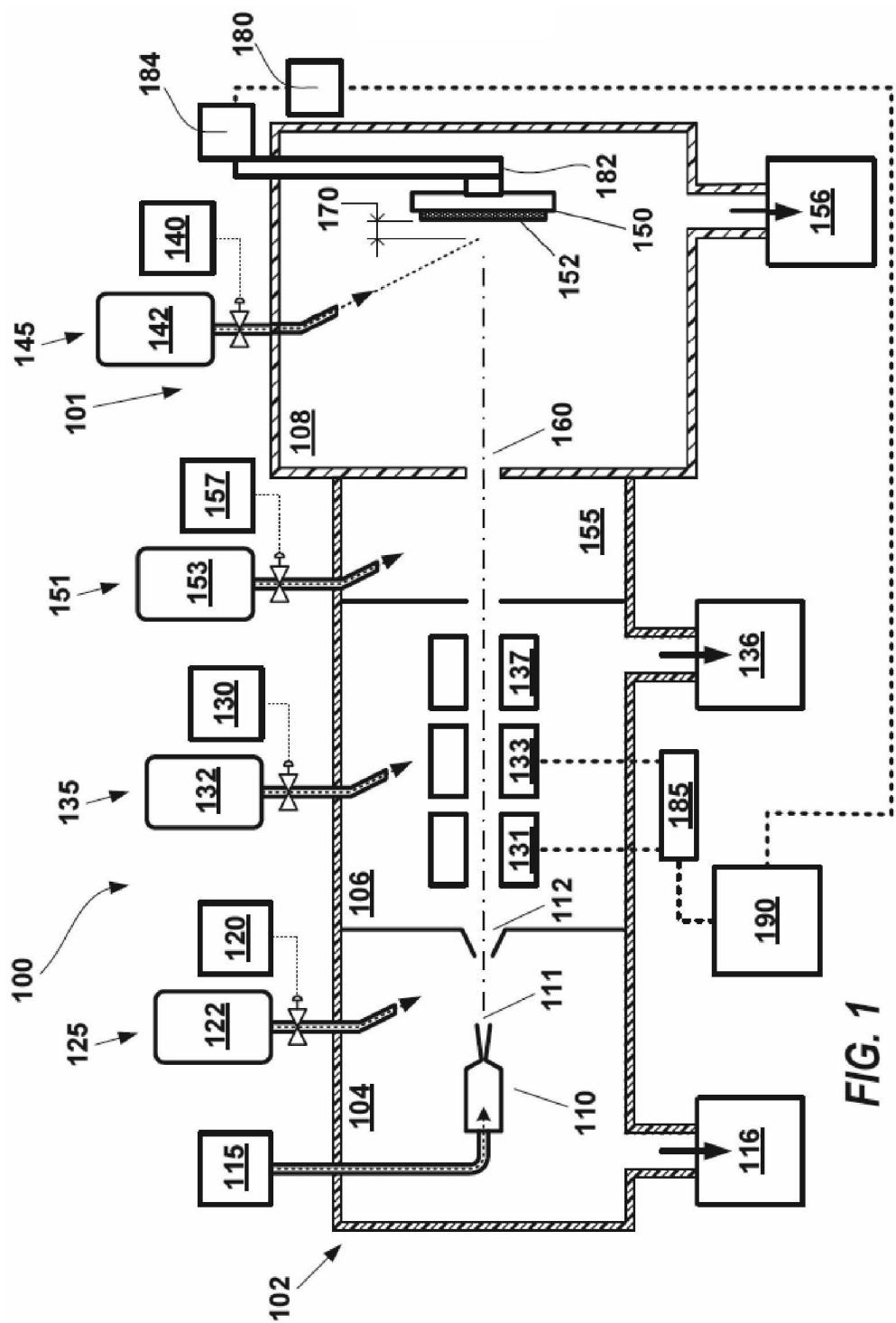
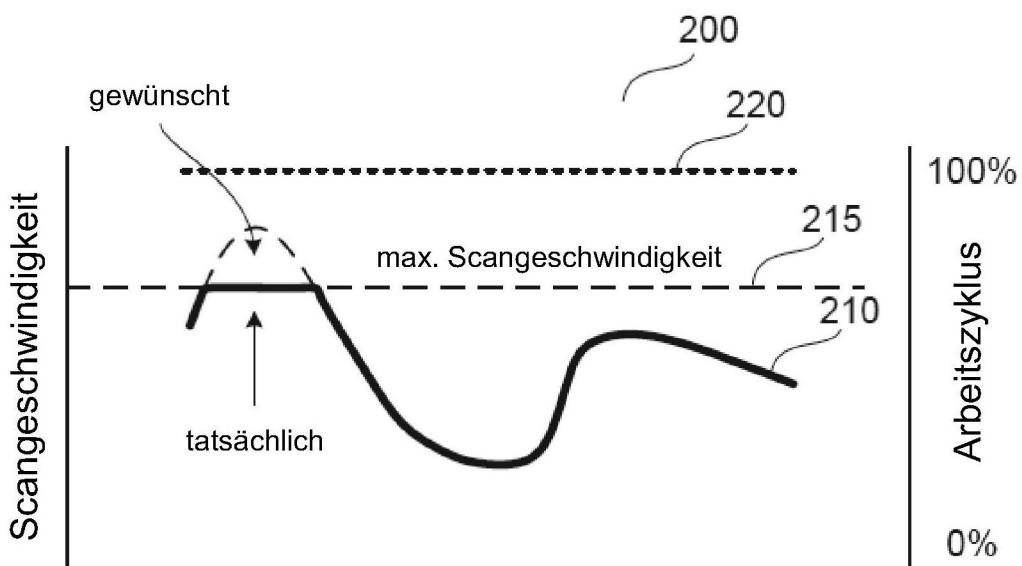
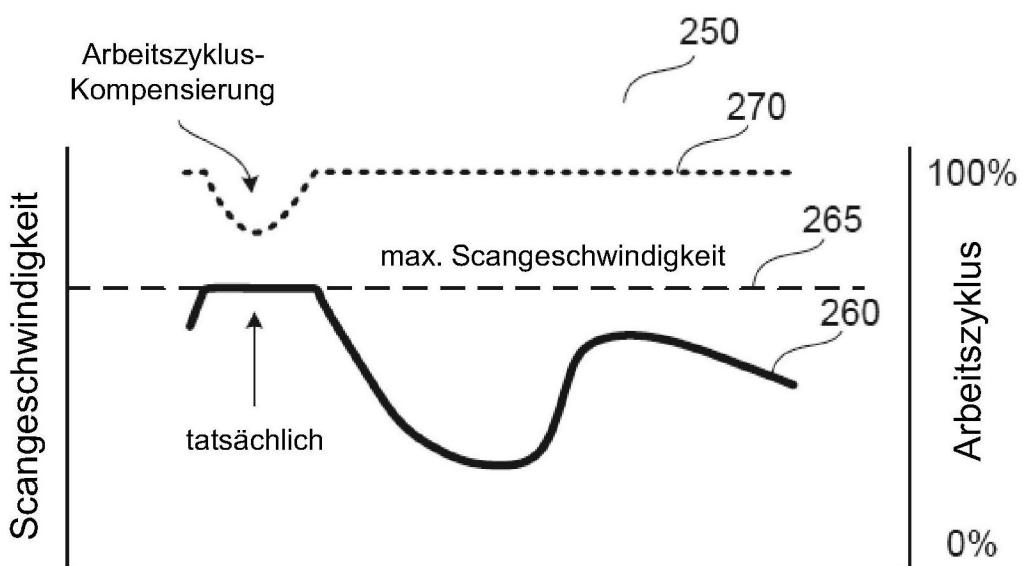
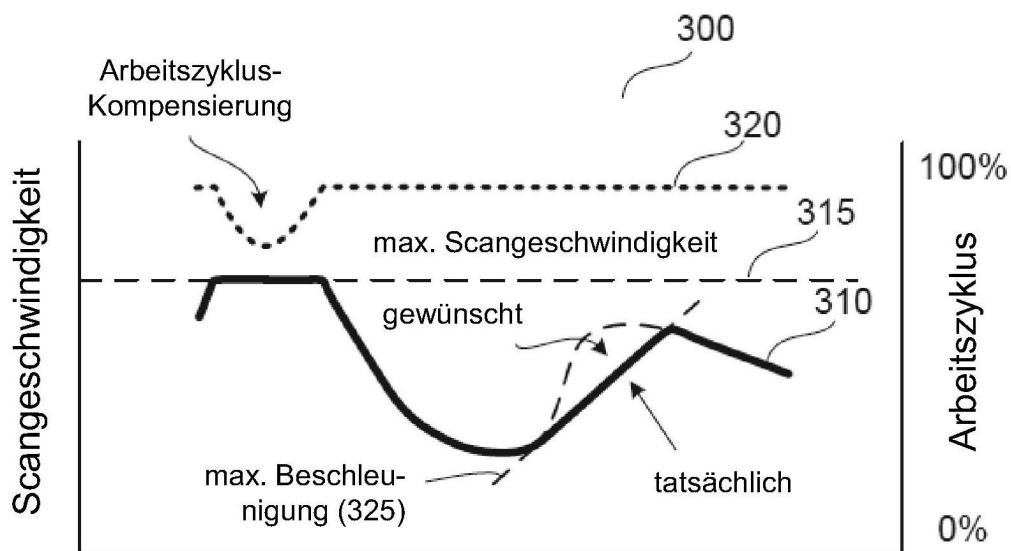
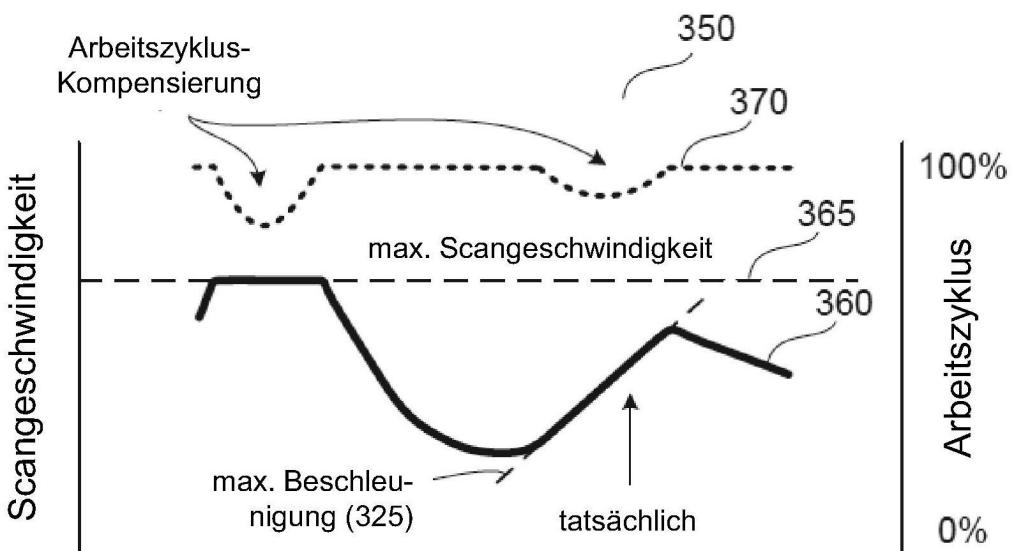
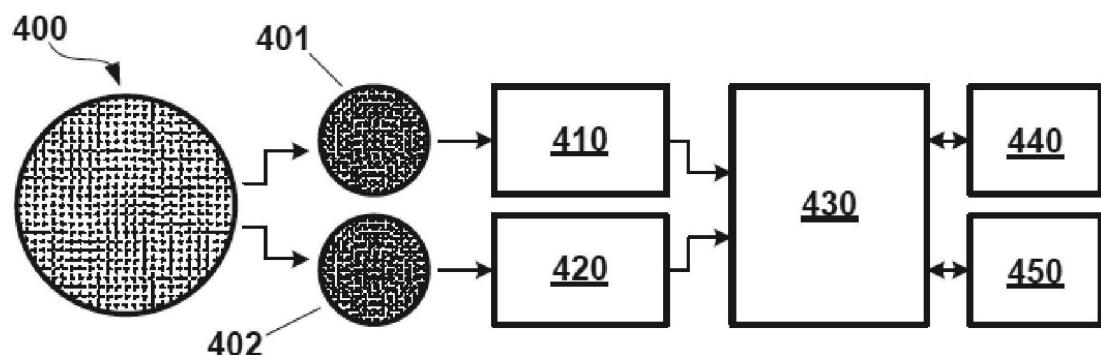
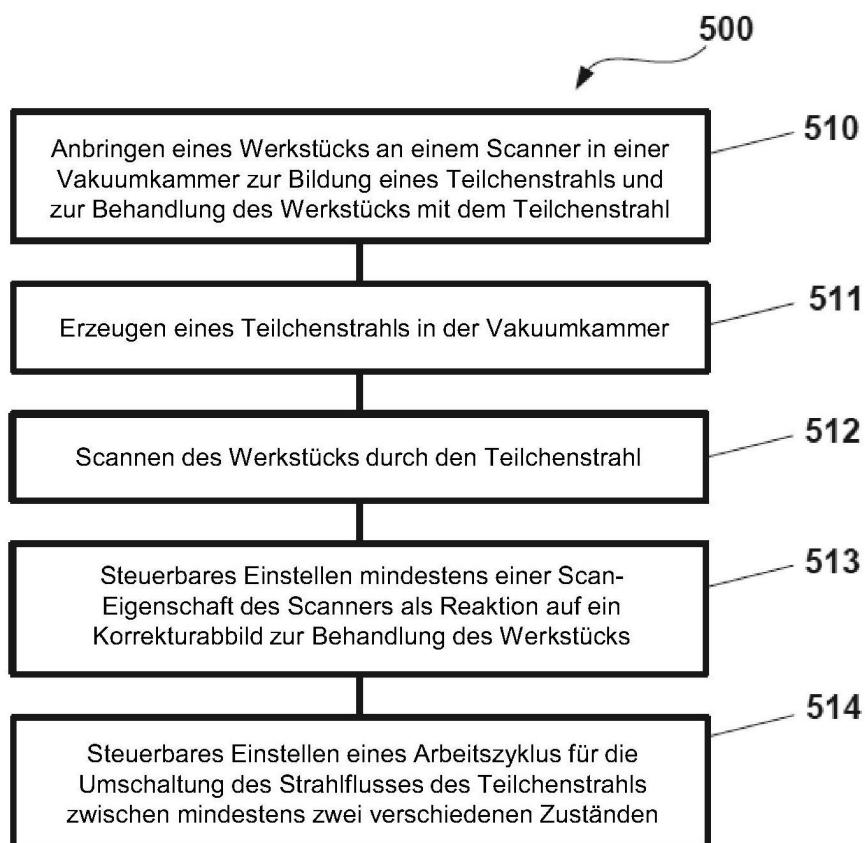


FIG. 1

**FIG. 2A****FIG. 2B**

**FIG. 3A****FIG. 3B**

**FIG. 4****FIG. 5**

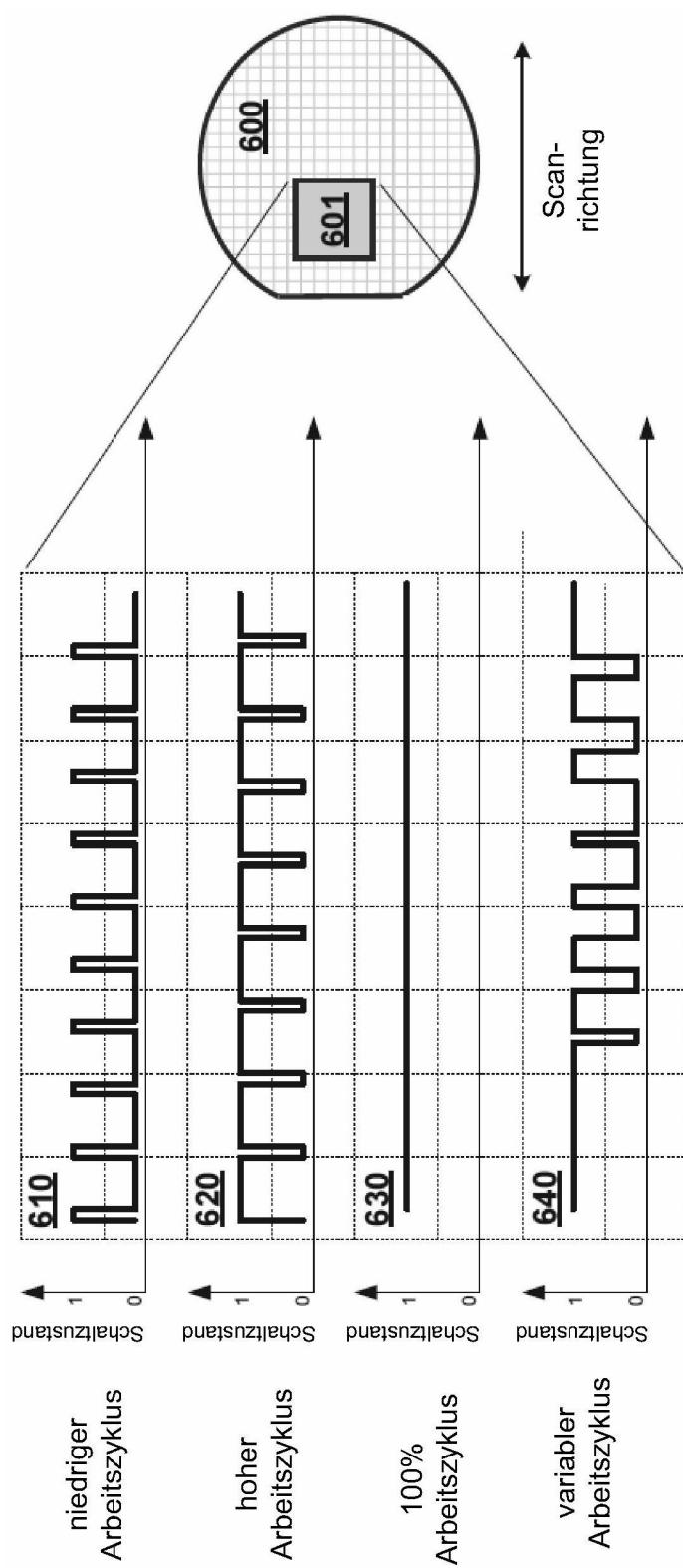


FIG. 6