



(10) **DE 10 2011 109 449 B3** 2012.12.13

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 109 449.4**

(22) Anmeldetag: **04.08.2011**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **13.12.2012**

(51) Int Cl.: **B23K 26/02 (2011.01)**

H01J 37/30 (2011.01)

G01B 11/03 (2011.01)

G01B 11/14 (2011.01)

G01B 11/00 (2011.01)

G02B 26/10 (2011.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80686, München,
DE; Carl Zeiss NTS GmbH, 73447, Oberkochen,
DE**

(72) Erfinder:

**Dömer, Holger, 73441, Bopfingen, DE;
Rosenkranz, Rüdiger, 01187, Dresden, DE**

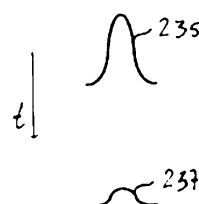
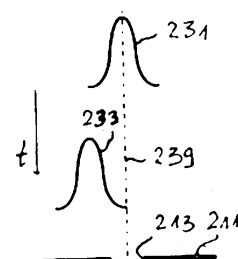
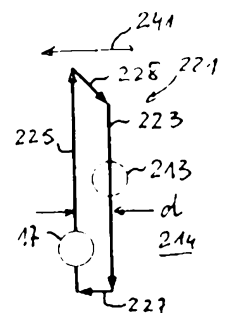
(74) Vertreter:

Diehl & Partner GbR, 80333, München, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUM KALIBRIEREN EINES LASERSCANNERS, VERWENDUNG DES
VERFAHRENS UND BEARBEITUNGSSYSTEM MIT LASERSCANNER**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zum Kalibrieren eines Laserscanners umfasst ein Scannen eines Laserstrahls 17 mit dem Laserscanner entlang eines Scanpfads 221 und ein Detektieren von durch Auftreffen von Laserlicht auf einen Detektionsquerschnitt 213 hervorgerufenen Lichtintensitäten, und Bestimmen einer Position des Detektionsquerschnitts relativ zu dem Laserscanner basierend auf den detektierten Lichtintensitäten, wobei der Scanpfad in einer Ebene, welche den Detektionsquerschnitt enthält, einen ersten Teilpfad 223 und einen zweiten Teilpfad 225 umfasst, welche sich nebeneinander mit einem Abstand d voneinander erstrecken, welcher kleiner ist als ein Durchmesser des Detektionsquerschnitts plus einem Durchmesser des Laserstrahls und welcher größer ist als ein 0,3-faches des Durchmessers des Laserstrahls oder/und welcher größer ist als ein 0,3-faches des Durchmessers des Detektionsquerschnitts.



(19)



Deutsches
Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2011 109 449 B3** 2012.12.13

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	10 2006 059 162	A1
DE	10 2008 045 336	A1
US	6 501 061	B1
US	6 855 938	B2
US	2005 / 0 184 251	A1
US	2005 / 0 205 778	A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Kalibrieren eines Laserscanners, die Verwendung dieses Verfahrens und ein Bearbeitungssystem mit einem Laserscanner.

[0002] Es ist bekannt, Laserstrahlen zur Bearbeitung eines Objekts, wie beispielsweise zur Veränderung von Materialeigenschaften des Objekts oder zum Abtragen von Material von dem Objekt, einzusetzen. Hierzu wird ein Laserstrahl mit ausreichender Strahlenergie bzw. ausreichender Photonenenergie mittels eines Laserscanners auf zuvor bestimmte Bearbeitungsorte des Objekts gerichtet. Dies erfolgt durch Einstellen von Scanauslenkungen des Laserscanners in Abhängigkeit von Koordinaten der Bearbeitungsorte in einem Koordinatensystem des Laserscanners. Hierzu sind die Koordinaten der gewünschten Bearbeitungsorte in Auslenkungen des Laserscanners umzurechnen, was durch eine geeignete mathematische Koordinatentransformation erreicht werden kann. Vorzugsweise wird diese Koordinatentransformation kalibriert. Dies kann beispielsweise durch den Einsatz von einem Detektor geschehen, welcher hinter einer Blende mit einer Blendenöffnung, welche einen bekannten Durchmesser aufweist und an einem bekannten Ort in dem Koordinatensystem angeordnet ist, geschehen, indem der Laserstrahl durch den Laserscanner über die Blende gescannt wird. Der über die Blende gescannte Laserstrahl kann der Laserstrahl sein, mit dem ebenfalls die Bearbeitung des Objekts vorgenommen wird, oder es kann ein hiervon verschiedener Laserstrahl sein, dessen Strahlverlauf eine bekannte Relation zu dem Laserstrahl aufweist, mit dem die Bearbeitung des Objekts vorgenommen wird. In Abhängigkeit von hierbei durch den Detektor detektierten Signalen kann die dem Ort der Blendenöffnung korrespondierende Scanauslenkung des Laserscanners ermittelt und hierdurch die Koordinatentransformation kalibriert werden. Dieser Vorgang kann für mehrere bekannte Orte, an denen die Blendenöffnung angeordnet ist, wiederholt werden. Derartige Vorrichtungen und Verfahren sind aus US 6,501,061 B1 und US 2005/0205775 A1 bekannt, deren Offenbarung durch Inbezugnahme vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung aufgenommen wird.

[0003] Das Bestimmen der Position der Blende relativ zu dem Laserscanner in Abhängigkeit der durch den Detektor detektierten Signale nimmt eine signifikante Zeitdauer in Anspruch, welche die gesamte Bearbeitungszeit für ein Objekt mit einem Laserbearbeitungssystem verlängert.

[0004] Demgemäß ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Kalibrieren eines Laserscanners bereitzustellen, welches es erlaubt, die Position eines bestimmten Detektionsquer-

schnitts, wie beispielsweise einer Blende, relativ zu dem Laserscanner in kürzerer Zeit und/oder mit einer erhöhten Genauigkeit zu bestimmen. Es ist ferner eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein entsprechendes Bearbeitungssystem mit einem Laserscanner vorzuschlagen.

[0005] Gemäß Ausführungsformen der Erfindung umfasst ein Verfahren zum Kalibrieren eines Laserscanners ein Scannen eines Laserstrahls mit dem Laserscanner entlang eines Scanpfads und ein Detektieren von durch Auftreffen von Laserlicht auf einen Detektionsquerschnitt hervorgerufenen Lichtintensitäten und Bestimmen einer Position des Detektionsquerschnitts relativ zu dem Laserscanner basierend auf den detektierten Lichtintensitäten. Der Detektionsquerschnitt kann durch einen lichtempfindlichen Bereich eines Detektors für Laserlicht oder eine Blende mit einem definierten Öffnungsquerschnitt bereitgestellt sein, wobei ein Detektor für Laserlicht Licht detektiert, welches den Öffnungsquerschnitt durchsetzt.

[0006] Gemäß weiterer Ausführungsformen umfasst ein Verfahren zum Kalibrieren eines Laserscanners ein Scannen eines Laserstrahls mit dem Laserscanner entlang eines Scanpfads, welcher in einer Ebene, welche einen Detektionsquerschnitt enthält, einen ersten Teilpfad und einen zweiten Teilpfad umfasst, welche sich nebeneinander mit einem Abstand voneinander erstrecken, der kleiner ist als ein Durchmesser des Detektionsquerschnitts plus einem Durchmesser des Laserstrahls in dieser Ebene, und welcher größer ist als ein 0,3-faches des Durchmessers des Laserstrahls in der Ebene oder/und welcher größer ist als ein 0,3-faches des Durchmessers des Detektionsquerschnitts. Damit führt das Scannen des Laserstrahls entlang des ersten Teilpfads und das Scannen des Laserstrahls entlang des zweiten Teilpfads jeweils zu separat detektierbaren Lichtintensitäten, welche miteinander verglichen werden können und damit ein relativ präzises Bestimmen der Position des Detektionsquerschnitts relativ zu den beiden Teilpfaden und damit auch zu dem Laserscanner ermöglichen.

[0007] Gemäß Ausführungsformen umfasst das Verfahren ferner ein wiederholtes Abändern des Scanpfads durch Verlagern des ersten und des zweiten Teilpfads, wobei deren Abstand voneinander insbesondere gleich bleibt. Das wiederholte Abändern des Scanpfads durch Verlagern des ersten und des zweiten Teilpfads kann so lange erfolgen, bis die beim Scannen entlang des ersten Teilpfads hervorgerufenen detektierten Lichtintensitäten und die beim Scannen entlang des zweiten Teilpfads hervorgerufenen Lichtintensitäten im Wesentlichen gleich sind oder/und bis eine Differenz zwischen diesen Lichtintensitäten im Wesentlichen null ist.

[0008] Es kann dann darauf geschlossen werden, dass ein Zentrum des Detektionsquerschnitts genau zwischen den beiden Teilpfaden liegt. Die Position des Detektionsquerschnitts relativ zu dem Laserscanner kann damit, gesehen in eine Richtung senkrecht zu der Erstreckungsrichtung der beiden Teilpfade in dem Bereich des Detektionsquerschnitts, präzise bestimmt werden.

[0009] Gemäß weiterer Ausführungsformen erfolgt das Scannen des Laserstrahls ferner entlang eines dritten und eines vierten Teilpfads, welche sich in der Ebene des Detektionsquerschnitts mit einem Abstand voneinander erstrecken, welcher kleiner ist als der Durchmesser des Detektionsquerschnitts plus dem Durchmesser des Laserstrahls, und welcher größer ist als ein 0,3-faches des Durchmessers des Laserstrahls und/oder größer als ein 0,3-faches des Durchmessers des Detektionsquerschnitts, wobei der dritte Teilpfad im Bereich des Detektionsquerschnitts mit dem ersten Teilpfad einen Winkel einschließt, der größer ist als 30° , insbesondere größer als 50° und insbesondere größer als 70° ist. In einem Spezialfall kann dieser Winkel im Wesentlichen 90° betragen. Hierdurch ist es möglich, die Position des Detektionsquerschnitts relativ zu dem Laserscanner auch in eine Richtung senkrecht zu der Erstreckungsrichtung des dritten und vierten Teilpfads präzise zu bestimmen. Zusammen mit der Bestimmung der Position des Detektionsquerschnitts senkrecht zu dem ersten und dem zweiten Teilpfad ist die Bestimmung der Position des Detektionsquerschnitts somit in zwei unabhängige Richtungen in der Ebene des Detektionsquerschnitts präzise möglich.

[0010] Gemäß Ausführungsformen erstrecken sich der erste und der zweite Teilpfad oder/und der dritte und der vierte Teilpfad jeweils parallel zueinander oder/und mit einem konstanten Abstand voneinander. Gemäß weiterer Ausführungsformen erstrecken sich der erste Teilpfad und der zweite Teilpfad oder/und der dritte Teilpfad und der vierte Teilpfad jeweils geradlinig.

[0011] Gemäß weiterer Ausführungsformen werden der erste Teilpfad und der zweite Teilpfad oder/und der dritte Teilpfad und der vierte Teilpfad in einander entgegengesetzte Richtungen abgescannt. Dies ermöglicht es, die beiden Teilpfade jeweils unmittelbar nacheinander wiederholt abzuscannen.

[0012] Gemäß Ausführungsformen ist der Detektionsquerschnitt an einem Objekthalter zur Halterung eines zu bearbeitenden Objekts vorgesehen, und das Verfahren umfasst ferner ein Bestimmen einer Koordinatentransformation zwischen einem Koordinatensystem des Laserscanners und einem Koordinatensystem des Objekthalters basierend auf der Position des Detektionsquerschnitts relativ zu dem Laserscanner. Hierdurch ist es nachfolgend möglich,

den Laserstrahl mit Hilfe des Laserscanners auf gewünschte Orte des Objekthalters bzw. des an diesem gehaltenen Objekts zu richten. Gemäß Ausführungsformen hierin umfasst das Verfahren ferner ein Bearbeiten des Objekts mit einem durch den Laserscanner auf gewünschte Orte des Objekts gerichteten Laserstrahl. Der Laserstrahl kann hierbei der gleiche Laserstrahl sein, welcher zum Bestimmen der Position des Detektionsquerschnitts relativ zu dem Laserscanner verwendet wird, oder es kann ein von diesem verschiedener Laserstrahl zur Bearbeitung des Objekts sein, welcher ebenfalls durch den Laserscanner gesteuert wird und dessen Strahlverlauf eine bekannte Relation zu dem Laserstrahl aufweist, welcher zum Bestimmen der Position des Detektionsquerschnitts relativ zu dem Laserscanner eingesetzt wird. Das Bearbeiten des Objekts kann insbesondere ein Verändern von Materialeigenschaften des Objekts und ein Abtragen von Material von dem Objekt umfassen.

[0013] Gemäß beispielhafter Ausführungsformen ist es hierbei möglich, an dem Objekthalter mehrere Detektionsquerschnitte, wie beispielsweise drei Detektionsquerschnitte, vorzusehen und die Positionen der mehreren Detektionsquerschnitte relativ zu dem Laserscanner jeweils zu bestimmen und die Koordinatentransformation basierend auf den bestimmten Positionen der mehreren Detektionsquerschnitte zu bestimmen. Hierdurch ist es möglich, eine geeignete Koordinatentransformation mit erhöhter Präzision zu bestimmen. Die Positionen der mehreren Detektionsquerschnitte werden hierbei jeweils so bestimmt, wie dies vorangehend für einen Detektionsquerschnitt erläutert wurde.

[0014] Gemäß Ausführungsformen der Erfindung wird ferner ein Bearbeitungssystem mit einem Laserscanner bereitgestellt, wobei das Bearbeitungssystem dazu konfiguriert ist, die vorangehend erläuterten verfahren auszuführen.

[0015] Gemäß weiterer Ausführungsformen der Erfindung wird ein Bearbeitungssystem bereitgestellt, welches umfasst: einen Laserscanner, einen Detektor für auf einen vorbestimmten Detektionsquerschnitt treffendes Laserlicht, und eine den Laserscanner kontrollierende und Detektionssignale des Detektors empfangende Steuerung, welche dazu konfiguriert ist, den Laserscanner so zu kontrollieren, dass der Laserstrahl entlang eines Scanpfads gescannt wird, der in einer Ebene, welche den Detektionsquerschnitt enthält, einen ersten Teilpfad und einen zweiten Teilpfad umfasst, welche sich nebeneinander mit einem Abstand voneinander erstrecken, welcher kleiner ist als ein Durchmesser des Detektionsquerschnitts plus einem Durchmesser des Laserstrahls in der Ebene, welche den Detektionsquerschnitt enthält, und welcher größer ist als ein 0,3-faches des Durchmessers des Laserstrahls in der Ebene, welche den Detektionsquerschnitt enthält, oder/und wel-

cher größer ist als ein 0,3-faches des Durchmessers des Detektionsquerschnitts, und wobei die Steuerung ein Steuerungsmodul umfasst, welches dazu konfiguriert ist, detektierte erste Lichtintensitäten, welche durch das Auftreffen von Laserlicht auf den Detektionsquerschnitt beim Scannen entlang des ersten Teilpfads hervorgerufen werden, mit detektierten zweiten Lichtintensitäten, welche durch das Auftreffen von Laserlicht auf den Detektionsquerschnitt beim Scannen entlang des zweiten Teilpfads hervorgerufen werden, zu vergleichen.

[0016] Gemäß spezieller Ausführungsformen hierin umfasst das Bearbeitungssystem ferner eine Partikelstrahlsäule, welche dazu konfiguriert ist, eine Position des Detektionsquerschnitts oder der mehreren Detektionsquerschnitte, relativ zu der Partikelstrahlsäule zu detektieren. Die Partikelstrahlsäule kann ferner dazu konfiguriert sein, ein mikroskopisches Bild eines Objekts zu gewinnen, Material an dem Objekt abzuschneiden oder Material von dem Objekt zu entfernen.

[0017] Ausführungsformen der Erfindung werden nachfolgend anhand Figuren näher erläutert. Hierbei zeigt

[0018] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung eines Laserbearbeitungssystems;

[0019] [Fig. 2](#) eine schematische Darstellung eines Objekthalters im Querschnitt, welcher in dem in [Fig. 1](#) gezeigten Laserbearbeitungssystem eingesetzt werden kann;

[0020] [Fig. 3a](#), [Fig. 3b](#) und [Fig. 3c](#) mehrere Stadien einer Verlagerung eines Scanpfads, auf einen Detektionsquerschnitt treffende Lichtintensitäten und detektierte Lichtintensitäten;

[0021] [Fig. 4](#) eine weitere schematische Darstellung von möglichen Scanpfaden;

[0022] [Fig. 5](#) eine schematische Darstellung eines Teils einer Steuerung eines Bearbeitungssystems; und

[0023] [Fig. 6](#) eine schematische Darstellung eines Teils einer weiteren Steuerung eines Bearbeitungssystems. Nachfolgend werden Ausführungsformen der Erfindung im Zusammenhang mit den Figuren erläutert. Hierbei werden Komponenten, die sich hinsichtlich ihrer Struktur und Funktion entsprechen, mit Bezugszeichen versehen, die gleiche Ziffern aufweisen, zur Unterscheidung jedoch mit einem zusätzlichen Buchstaben ergänzt sind. Zur Erläuterung der Komponenten wird deshalb auch auf die gesamte jeweils vorangehende und nachfolgende Beschreibung Bezug genommen.

[0024] [Fig. 1](#) ist eine schematische Darstellung eines Bearbeitungssystems **1**. Dieses Bearbeitungssystem ist dazu konfiguriert, eine Bearbeitung eines Objekts mit einem Laserstrahl und mit mehreren Partikelstrahlen vorzunehmen. Hintergrundinformation zu derartigen Systemen kann beispielsweise der US 2011/0198326 A1 entnommen werden, deren Offenbarung durch Inbezugnahme vollumfänglich in die vorliegende Patentanmeldung aufgenommen wird.

[0025] Das Bearbeitungssystem **1** umfasst zwei Partikelstrahlsäulen, nämlich eine Elektronenstrahlsäule **3** zur Erzeugung eines Elektronenstrahls **5** und eine Ionenstrahlsäule **7** zur Erzeugung eines Ionenstrahls **9**, welcher wie der Elektronenstrahl **5** auf Orte innerhalb eines Bearbeitungsbereichs **11** gerichtet ist.

[0026] Die Elektronenstrahlsäule **3** dient dazu, den Elektronenstrahl **5** auf ein Objekt, welches innerhalb des Bearbeitungsbereichs **11** angeordnet ist, zu richten und Wechselwirkungsteilchen, wie zum Beispiel Sekundärelektronen, rückgestreute Elektronen oder transmittierte Elektronen, und/oder Wechselwirkungsstrahlung, wie zum Beispiel Röntgenstrahlung oder Kathodolumineszenzstrahlung, zu detektieren. Wird der Elektronenstrahl auf verschiedene Orte auf dem Objekt gerichtet und werden detektierte Intensitäten diesen Orten zugeordnet, so kann ein elektronenmikroskopisches Bild eines Teils des Objekts ermittelt werden. Es ist möglich, auf der Grundlage dieses elektronenmikroskopischen Bilds Bearbeitungsorte an dem Objekt zu ermitteln, welche einer weiteren Bearbeitung bedürfen. Die weitere Bearbeitung kann darin bestehen, dass an den Bearbeitungsstellen Material abgeschieden wird oder an den Bearbeitungsstellen Material abgetragen wird.

[0027] Die Ionenstrahlsäule **7** dient dazu, den Ionenstrahl **9** auf derartige Bearbeitungsstellen zu richten. Der Ionenstrahl **9** kann an den Bearbeitungsstellen Material von dem Objekt abtragen, und er kann auch eine Abscheidung von Material an der Oberfläche anregen. Hierbei ist es auch möglich, dem Bearbeitungsort zusätzlich ein Prozessgas zuzuführen, welches durch den Ionenstrahl aktiviert wird und zum Abtragen von Material von dem Objekt oder zum Abscheiden von Material an dem Objekt führt. Der Ionenstrahl kann ebenfalls, ähnlich wie der Elektronenstrahl, dazu eingesetzt werden, ein Bild des Objekts zu erzeugen.

[0028] Das Abtragen von Material von dem Objekt durch den Ionenstrahl **9** ist nur mit einer beschränkten Rate möglich. Ist ein Materialabtrag in einem Umfang gewünscht, der bei gegebener Abtragsrate durch den Ionenstrahl zu lange Zeit beanspruchen würde, so kann der Materialabtrag durch einen Laserstrahl erfolgen. Hierzu wird das Objekt in einen Scanbereich **13** eines von einem Laserscanner **74** ausgesandten Laserstrahls **17** transportiert, um mit dem Laserstrahl

von dem Objekt Material abzutragen. Die Rate der Materialabtragung durch den Laserstrahl ist größer als die durch den Ionenstrahl. Entsprechend sind mit dem Laserstrahl relativ große Material-Abtragsraten erreichbar.

[0029] Die Elektronenstrahlsäule **3** umfasst eine Elektronenquelle **21** mit einer Kathode **23** und einer Anode **25**, ein Kondensorlinsensystem **27** zur Erzeugung des Strahls **5**, einen beispielsweise innerhalb der Säule **3** angeordneten Sekundärelektronendetektor **29**, eine Objektivlinse **31**, um den Elektronenstrahl **5** innerhalb des Bearbeitungsbereichs **11** zu fokussieren. Strahlablenker **33** sind vorgesehen, um den Auftreffort des Elektronenstrahls **5** auf dem Objekt zu variieren und beispielsweise den Bearbeitungsbereich der Oberfläche des Objekts abzurastern und dabei erzeugte oder freigesetzte Teilchen, im vorliegenden Ausführungsbeispiel Sekundärelektronen, mit dem Detektor **29** zu detektieren, um ein elektronenmikroskopisches Bild des Objekts in dem abgerasterten Bearbeitungsbereich **11** zu gewinnen.

[0030] Die Ionenstrahlsäule **7** umfasst eine Ionenquelle **39** und Elektroden **41** zur Formung und Beschleunigung des Ionenstrahls **9** sowie Strahlablenker **43** und Fokussierspulen oder Fokussierelektroden **45**, um ebenfalls den Ionenstrahl **9** innerhalb des Bearbeitungsbereichs **11** zu fokussieren und dort über einen Bereich des Objekts zu rastern.

[0031] Ein Vakuumraum **51** ist durch einen Vakuummantel **53** begrenzt, welcher einen mit einer Vakuumpumpe verbundenen Pumpstutzen **55** aufweist und welcher über einen Stutzen **57** belüftet werden kann. Um die Elektronenquelle **21** permanent unter ausreichend gutem Vakuum halten zu können, auch wenn in dem Vakuumraum **51** Prozessgas eingeführt wird, umfasst die Elektronensäule **3** eine Druckstufenblende **59** und einen weiteren Pumpstutzen **61**, um den Bereich der Elektronenquelle **21** durch eine separate Vakuumpumpe abzupumpen.

[0032] Hintergrundinformation zu Systemen, welche mehrere Partikelstrahlen zur Bearbeitung einer Probe einsetzen, kann beispielsweise aus US 2005/0184251 A1, US 6,855,938 und DE 10 2006 059 162 A1 gewonnen werden, wobei die Offenbarung dieser Veröffentlichungen vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung aufgenommen wird.

[0033] Das Lasersystem **15** umfasst einen Laser **71** und eine Optik **73**, um den Laserstrahl **17** zu formen und zu fokussieren. Der Laserstrahl **17** wird über einen oder mehrere Spiegel oder Lichtleiter zu einem Ort nahe des Vakuummantels **53** des Vakuumraumes **83** geleitet und trifft dort auf einen Laserscanner **74**, welcher zwei Scanspiegel **75**, **77** umfasst, welche durch Aktuatoren **76** bzw. **78** verschwenkbar sind,

wie dies jeweils durch Pfeile **79** angedeutet ist. Die Verschwenkung der Spiegel **75**, **77** durch die Aktuatoren **76**, **78** erfolgt in quer zueinander, insbesondere orthogonal zueinander, orientierte Richtungen, so dass der Laserstrahl **17** nach Reflexion an den beiden Spiegeln **75** und **77** in zwei unabhängige Richtungen verschwenkbar ist und den Scanbereich **13** absannen kann.

[0034] In dem hier beschriebenen Beispiel umfasst der Laserscanner **74** zwei Scanspiegel, welche jeweils in eine Richtung verschwenkbar sind. In anderen Beispielen umfasst der Laserscanner lediglich einen Scanspiegel, welcher in zwei unabhängige Richtungen verschwenkbar ist. Auch andere Varianten von Laserscannern sind denkbar.

[0035] Die Aktuatoren **76** und **78** werden von einer Steuerung **80** kontrolliert, wie dies nachfolgend noch im Detail beschrieben wird.

[0036] Der Laserstrahl **17** tritt durch ein Fenster **81** in einen Vakuumraum **83** ein, der ebenfalls durch die Kammerwand **53** begrenzt ist, von dem Vakuumraum **51** allerdings durch eine öffnbare Tür **85** separierbar ist. [Fig. 1](#) zeigt eine Verschlussplatte **87** der Tür **85** in durchgezogener Linie in geöffnetem Zustand der Tür und in unterbrochener Linie in geschlossenem Zustand der Tür **85**. Eine Aktuatorstange **89** der Tür dient dazu, die Verschlussplatte **87** zu verlagern, um die Tür **85** von ihrem geöffneten Zustand in ihren geschlossenen Zustand überzuführen und umgekehrt. Die Tür **85** kann hierbei als Vakuumverschluss ausgebildet sein, indem sie gegenüber der Kammerwand **53** abgedichtet ist, um in den Vakuumräumen **51** und **83** unterschiedliche Vakuumdrücke aufrecht zu halten. Hierbei wird der Vakuumraum **83** über einen mit einer Vakuumpumpe verbundenen Pumpstutzen **91** evakuiert und kann über einen weiteren Stutzen **93** belüftet werden.

[0037] Das zu bearbeitende Objekt ist auf einem Objekthalter **101** angebracht und kann zusammen mit dem Objekthalter **101** zwischen zwei Positionen hin und her transportiert werden. Hierzu ist eine Transportvorrichtung **103** vorgesehen, welche ein Gestänge **105** umfasst, das an einem Ende eine Kupplung **108** aufweist, mit der der Objekthalter **101** gegriffen werden kann, um ihn von der in [Fig. 1](#) rechten Position, in der das Objekt in dem Bearbeitungsbereich **11** der Teilchenstrahlen **5** und **9** angeordnet ist, in eine in [Fig. 1](#) linke Position zu ziehen, in der das Objekt innerhalb des Bearbeitungsbereichs **13** des Laserstrahls **17** angeordnet ist. Ebenso kann der Objekthalter **101** durch die Transportvorrichtung **103** von der in [Fig. 1](#) linken Position in die in [Fig. 1](#) rechte Position transportiert werden. Die Transportvorrichtung **103** umfasst hierzu ferner eine in dem Vakuummantel **53** vorgesehene und von dem Gestänge **105** durchgesetzte Vakuumdichtung **107**, welche ein Verschieben

des Gestänges **105** zum Transportieren des Objekthalter **101** zwischen seinen beiden Positionen erlaubt, ohne die Vakuumräume **51** und **83** belüften zu müssen. Ferner kann eine Schiene **109** vorgesehen sein, um den Objekthalter **101** während seines Transports zu tragen. Wenn der Objekthalter **101** in der in [Fig. 1](#) rechten Position in dem Vakuumraum **51** angeordnet ist, kann die Kupplung **108** des Gestänges **105** von dem Objekthalter **101** gelöst werden, so dass das Gestänge **105** aus dem Vakuumraum **51** entfernt werden und die Türe **85** geschlossen werden kann.

[0038] Wenn der Objekthalter **101** in dem Vakuumraum **51** angeordnet ist, wird er von einer Positionier Vorrichtung **111** getragen, welche dazu dient, den Objekthalter **101** relativ zu den Teilchenstrahlen **5** und **9** zu verlagern, um diese aus auswählbaren Richtungen auf auswählbare Orte auf dem Objekthalter **101** richten zu können. Hierzu umfasst die Positionier Vorrichtung **111** eine Basis **113** und ein oder mehrere Zwischenkomponenten **115**, welche eine Komponente **117** tragen, an der der Objekthalter **101** festgemacht ist. Die Komponenten **113**, **115** und **117** sind relativ zueinander verlagerbar, um eine Verschiebung des Objekthalter **101** in drei Raumrichtungen x , y und z zu erlauben, und die Komponenten können auch relativ zueinander verdrehbar sein, um eine Änderung von Orientierungen des Objekthalter **101** relativ zu den Partikelstrahlen **5** und **9** in Raumwinkel ϑ und φ zu erlangen. In der in [Fig. 1](#) linken Position in dem Vakuumraum **83** ist der Objekthalter **101** auf einer Positionier Vorrichtung **121** angeordnet, welche eine Positionierung des Objekthalter **101** in dem Bearbeitungsbereich **13** des Laserscanners **15** erlaubt.

[0039] Weitere Ausführungsformen von Bearbeitungssystemen, bei denen eine Laserstrahlbearbeitung mit einer Teilchenstrahluntersuchung oder einer Teilchenstrahlbearbeitung kombiniert werden kann, sind in der DE 10 2008 045 336 beschrieben, deren Offenbarung durch Inbezugnahme vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung aufgenommen wird.

[0040] [Fig. 2](#) zeigt eine schematische Schnittdarstellung des Objekthalter **101** in der in [Fig. 1](#) linken Position. Der Objekthalter **101** umfasst einen Grundkörper **201**, an welchem ein Objektträger **203** befestigt ist, welcher ein zu bearbeitendes Objekt **205** trägt.

[0041] Der Grundkörper **201** umfasst in dem hier beschriebenen Beispiel ferner drei Lichtdetektoren **207**, von denen zwei in [Fig. 2](#) im Schnitt dargestellt sind. Die Lichtdetektoren **207** umfassen jeweils einen Lichtsensor **209**, welcher mit Abstand von einer Blende **211** angeordnet ist, welche eine definierte Blendenöffnung **213** aufweist. Die Blendenöffnung **213** bildet einen wohldefinierten Detektionsquerschnitt und definiert die Querschnittsfläche, über welche Licht in den Lichtdetektor **207** eintreten kann, um von dem Sensor **209** detektiert zu werden.

den. Der Detektor **207** umfasst ferner zwei Kontakte **215** des Lichtsensors **209**, welche an der Unterseite des Grundkörpers **201** voneinander isoliert exponiert sind, so dass sie mit entsprechenden Federkontakten **217** in Kontakt treten können, welche an der Positionier Vorrichtung **121** vorgesehen sind, wenn der Objekthalter **101** auf der Positionier Vorrichtung **121** positioniert ist. Die Federkontakte **217** sind über Leitungen **219** mit der Steuerung **80** verbunden, so dass diese Detektionssignale der Sensoren **209** empfangen kann.

[0042] Die Lichtdetektoren **207** mit den definierten Detektionsquerschnitten **213** werden dazu eingesetzt, eine Koordinatentransformation zwischen dem Laserscanner **74** und einem Koordinatensystem des Objekthalter **101** zu bestimmen, so dass der Laserstrahl **17** nachfolgend auf gewünschte Orte des Objekts **205** gerichtet werden kann. Hierzu ist es notwendig, die Position des Detektionsquerschnitts **213** in dem Koordinatensystem des Laserscanners zu bestimmen. Ein Verfahren hierzu wird nachfolgend anhand der [Fig. 3a](#), [Fig. 3b](#) und [Fig. 3c](#) erläutert.

[0043] [Fig. 3a](#) zeigt oben eine Ansicht einer Ebene **214**, in welcher der Detektionsquerschnitt **213** angeordnet ist, und einen Scanpfad **221**, entlang welchem der Laserstrahl **17** gescannt wird. Der Scanpfad **221** umfasst einen ersten Teilpfad **223** und einen mit Abstand d von diesem angeordneten zweiten Teilpfad **225**. Der erste und der zweite Teilpfad **223**, **225** sind durch Zwischenpfade **227** und **228** miteinander verbunden, so dass der Reihe nach der erste Teilpfad **223**, der Zwischenpfad **227**, der zweite Teilpfad **225**, der Zwischenpfad **228** und dann wieder der erste Teilpfad **223** wiederholt durchlaufen werden. Die beiden Teilpfade **223** und **225** werden in zueinander entgegengesetzte Richtungen durchlaufen. In dem erläuterten Beispiel sind die Zwischenpfade **227** jeweils die kürzesten, geradlinigen Verbindungen zwischen dem Ende des einen Teilpfads und dem Beginn des anderen Teilpfads. Es ist jedoch auch möglich, dass die Zwischenpfade eine andere Gestalt aufweisen, wie beispielsweise eine nicht geradlinige sondern gekrümmte Gestalt. Ferner ist es möglich, den Laserstrahl auszuschalten, wenn die Scanposition des Laserscanners **74** von dem Ende des einen Teilpfads zu dem Beginn des anderen Teilpfads übergeht.

[0044] In dem dargestellten Beispiel sind der erste Teilpfad **223** und der zweite Teilpfad **225** jeweils geradlinig. Allerdings können die Teilpfade auch entlang von gekrümmten Linien oder allgemeinen Kurven, wie beispielsweise auf Kreisbögen oder Spiralen, verlaufen, sofern sie sich mit einem Abstand d voneinander erstrecken, welcher nachfolgend noch erläutert wird.

[0045] Der Durchmesser des Laserstrahls **17** in der Ebene des Detektionsquerschnitts **213** ist in [Fig. 3a](#)

oben als ein Kreis dargestellt. Tatsächlich hat der Laserstrahl ein Intensitätsprofil, welches beispielsweise ein gaußförmiges Profil ist, wie dies in [Fig. 3a](#), mittig, dargestellt ist. Dort repräsentiert eine Kurve **231** das Profil des Laserstrahls während des Scannens entlang des ersten Teilpfads **223**, während eine Kurve **233** die Lage des Intensitätsprofils des Laserstrahls **17** während des Scannens entlang des zweiten Teilpfads **225** repräsentiert. Hierbei ist angenommen, dass zuerst der erste Teilpfad **223** und dann der zweite Teilpfad **225** durchlaufen werden, so dass das zweite Strahlprofil **233** entlang der Zeitachse t später auftritt als das erste Intensitätsprofil **231**.

[0046] In [Fig. 3a](#) unten repräsentiert eine Kurve **235** ein von der Steuerung **80** detektiertes und von einem hinter der Blende **211** mit dem Detektionsquerschnitt **213** angeordneten Lichtsensor **209** erzeugtes Intensitätssignal, welches durch das Laserstrahlprofil **213** während des Scannens entlang des ersten Teilpfads **223** erzeugt wurde. Da in dem anhand der [Fig. 3a](#) erläuterten Beispiel der erste Teilpfad **223** durch das Zentrum **239** des Detektionsquerschnitts **213** verläuft, hat das Signal **235** eine maximale Intensität.

[0047] Eine Kurve **237** in [Fig. 3a](#) unten repräsentiert ein Detektionssignal, welches durch das Strahlprofil **233** während des Scannens des Laserstrahls **17** entlang des zweiten Teilpfads **225** erzeugt wird. Da der zweite Teilpfad **225** mit Abstand von dem ersten Teilpfad **223** angeordnet ist, verläuft dieser nicht durch das Zentrum **239** des Detektionsquerschnitts, so dass eine geringere Intensität an Laserlicht durch den Detektionsquerschnitt **213** hindurch zu dem Lichtsensor **209** gelangen kann. Entsprechend weist das Signal **237** eine geringere Intensität auf als das Signal **235**. Da der erste Teilpfad **223** in dem dargestellten Beispiel vor dem zweiten Teilpfad **225** durchlaufen wird, folgt das Signal **237** zeitlich (t) nach dem Signal **235**.

[0048] Um die Position des Detektionsquerschnitts **213** relativ zu dem Laserscanner zu bestimmen, wäre es nun möglich, den ersten Teilpfad **223** in eine Richtung quer zu dessen Erstreckungsrichtung etwas zu verlagern und die Intensität des Signals **235** zu analysieren. Bei einer Verlagerung, bei welcher die Intensität des Signals maximal ist, verläuft der erste Teilpfad **223** genau durch das Zentrum des Detektionsquerschnitts **213**, so dass die Position des Zentrums des Detektionsquerschnitts **213** in Richtung senkrecht zu der Erstreckungsrichtung des ersten Teilpfads **223** bestimmt ist und mit der Scanauslenkung senkrecht zur Erstreckungsrichtung des Teilpfads **223** gleichgesetzt werden kann. Allerdings ändert sich die Intensität des Signals **235** bei Variation der Lage des Teilpfads **223** nur geringfügig, so dass auf diese Weise die Position des Detektionsquerschnitts **213** relativ

zu dem Laserscanner **74** lediglich mit einer geringen Präzision bestimmt werden kann.

[0049] In dem hier erläuterten Beispiel erfolgt die Bestimmung der Position, indem die Teilpfade **223** und **225** wiederholt durchlaufen werden und deren Lage in eine Richtung **241** kontinuierlich verlagert wird. Die [Fig. 3b](#) und [Fig. 3c](#) oben zeigen zwei Beispiele aus dieser kontinuierlichen Verlagerung. In [Fig. 3b](#) oben ist der Detektionsquerschnitt **213** mittig zwischen den beiden Teilpfaden **223** und **225** angeordnet, so dass die beiden Strahlprofile **231** und **233** zu Detektionssignalen **235** bzw. **237** gleicher Intensität führen, wie dies in [Fig. 3b](#) unten dargestellt ist. In der [Fig. 3c](#) ist die Verlagerung weiter fortgeschritten, und zwar derart, dass der zweite Teilpfad **225** durch das Zentrum **239** des Detektionsquerschnitts **213** verläuft. Entsprechend ist das während des Abscannens des zweiten Teilpfads **225** erzeugte Detektionssignal **237** größer als das während des Abscannens des ersten Teilpfads **223** erzeugte Detektionssignal **235**, wie dies in [Fig. 3c](#) unten dargestellt ist.

[0050] In dem hier erläuterten Beispiel erfolgt das Bestimmen der Position des Detektionsquerschnitts **213** in Richtung quer zu der Erstreckungsrichtung der beiden Teilpfade **223** und **225** derart, dass der die beiden Teilpfade **223** und **225** umfassende Scanpfad so verlagert wird, dass die beiden Detektionssignale **235** und **237** eine gleiche Intensität aufweisen bzw. eine Differenz zwischen diesen beiden Intensitäten minimal oder gleich null ist. Dies hat den Vorteil, dass bereits geringfügige Verlagerungen der Teilpfade zu relativ großen Unterschieden zwischen den beiden Detektionssignalen **235** und **237** führen, so dass die Position des Detektionsquerschnitts mit einer erhöhten Genauigkeit erfasst werden kann. Die Position des Zentrums **239** des Detektionsquerschnitts **213** in dem Koordinatensystem des Laserscanners entspricht dann der Mitte zwischen den Scanauslenkungen quer zu den Erstreckungsrichtungen der Teilpfade **223**, **225**.

[0051] Hierbei ist es notwendig, dass die beiden Teilpfade **223** und **225** einen Abstand voneinander aufweisen, der so bemessen ist, dass sowohl beim Scannen entlang des ersten Teilpfads **223** als auch beim Scannen entlang des zweiten Teilpfads **225** Licht des Laserstrahls **17** auf den Detektionsquerschnitt **213** trifft. Deshalb sollte der Abstand d zwischen den beiden Teilpfaden **223**, **225** kleiner sein als ein aus dem Durchmesser des Detektionsquerschnitts **213** bestimmter Wert plus einem aus dem Durchmesser des Laserstrahls **17** bestimmter Wert. Der aus dem Durchmesser des Detektionsquerschnitts **213** bestimmte Wert kann z. B. so groß gewählt werden wie der Durchmesser des Detektionsquerschnitts **213** selbst, oder er kann etwas kleiner gewählt werden, wie beispielsweise ein 0,9-faches oder ein 0,8-faches des Durchmessers des De-

tektionsquerschnitts **213**. Ähnlich kann der aus dem Durchmesser des Laserstrahls **17** bestimmte Wert z. B. so groß gewählt werden wie der Durchmesser des Laserstrahls **17** in der Ebene des Detektionsquerschnitts selbst, oder er kann etwas kleiner gewählt werden, wie beispielsweise ein 0,9-faches oder ein 0,8-faches des Durchmessers des Laserstrahls **17** in der Ebene des Detektionsquerschnitts.

[0052] Der Durchmesser des Laserstrahls **17** kann nach einem herkömmlichen Verfahren bestimmt werden. Beispielsweise kann bei einem gaußförmigen Strahlquerschnitt oder einem ähnlichen Strahlquerschnitt der Durchmesser des Strahls so bestimmt werden, dass z. B. 90% der Strahlintensität innerhalb des Durchmessers liegen und 10% der Strahlintensität außerhalb des Durchmessers liegen. Ferner darf der Abstand d zwischen den beiden Teilpfaden **223** und **225** nicht zu gering sein, damit eine Verlagerung in die Richtung **241** zu einer signifikanten Änderung der Differenz zwischen den Intensitäten der beiden Signale **235** und **237** führt. Beispielsweise sollte der Abstand d größer sein als ein 0,3-faches, ein 0,4-faches oder ein 0,5-faches des Durchmessers des Laserstrahls oder/und als ein 0,3-faches des Detektionsquerschnitts.

[0053] Mit dem anhand der **Fig. 3a** bis **Fig. 3c** erläuterten Verfahren kann die Position des Detektionsquerschnitts **213** in eine Richtung, nämlich die Richtung quer zur Erstreckungsrichtung der Teilpfade **223** und **225** präzise erfasst werden.

[0054] **Fig. 4** erläutert, wie die Position des Detektionsquerschnitts **213** in zwei unabhängige Richtungen erfasst werden kann.

[0055] Hier erfolgt zunächst die Bestimmung der Position in eine Richtung quer zu der Erstreckungsrichtung der Teilpfade **223** und **225**, wie dies anhand der **Fig. 3a** bis **Fig. 3c** erläutert wurde. Sodann wird der Scanpfad abgewandelt, indem ein dritter Teilpfad **223'** und ein vierter Teilpfad **225'** wiederholt abgescannt werden, wobei diese unter einem Winkel von 90° zu den ersten und zweiten Teilpfaden **223** und **225** orientiert sind. Die Lage der Teilpfade **223'** und **225'** wird in die Richtung **241'** so lange variiert, bis die beiden detektierten Signale fast gleich sind bzw. bis eine Differenz zwischen diesen beiden Signalen minimal oder gleich null ist. Damit ist die Position des Zentrums des Detektionsquerschnitts **213** sowohl in die Richtung **241** als auch in die Richtung **241'** präzise bestimmt.

[0056] **Fig. 5** zeigt eine schematische Darstellung eines Teils der Steuerung **80**, um die vorangehend beschriebene Analyse der Detektionssignale durchzuführen. Das von dem Lichtsensor **209** über die Leitung **219** an die Steuerung **80** übertragene Detektionssignal wird von einem Strom-Spannungswand-

ler aus einem Operationsverstärker **241** mit Widerstand **243** gewandelt und durch einen Analog-Digital-Wandler **245** in ein digitales Signal umgewandelt. Das von dem Analog-Digital-Wandler ausgegebene digitale Signal wird von einem Mikroprozessor **247** analysiert, welcher dazu konfiguriert ist, detektierte Signale zeitlich aufzulösen und deren Intensitäten zu speichern, um diese miteinander zu vergleichen. Der Mikroprozessor **247** vergleicht zwei zeitlich aufeinanderfolgende Signale hinsichtlich ihrer Intensität und bildet die Differenz der Intensitäten. Diese Differenz wird an einen PI-Regler **249** ausgegeben, der wiederum ein Steuersignal für die Verlagerung des Scanpfads an einem Ausgang **265** bereitstellt. Eine weitere Komponente der Steuerung **80**, welche den Scanpfad erzeugt und die Aktuatoren **76**, **78** des Laserscanners **74** so kontrolliert, dass der Laserstrahl **17** entlang des Scanpfads geführt wird, liest das an dem Ausgang **265** bereitgestellte Signal ein und verlagert den Scanpfad in Abhängigkeit von diesem Signal.

[0057] Mit der in **Fig. 5** schematisch dargestellten Schaltung ist es somit möglich, den Scanpfad so lange zu verlagern, bis die beiden Detektionssignale, welche während des Scannens entlang des ersten Teilpfads **223** und während des Scannens entlang des zweiten Teilpfads **225** erzeugt werden, gleiche Intensität aufweisen.

[0058] **Fig. 6** zeigt eine Variante des in **Fig. 5** gezeigten Teils der Schaltung in schematischer Darstellung. Hier wird wiederum das von dem Sensor **209** erzeugte Signal mit einem Strom-Spannungswandler aus einem Operationsverstärker **241** gewandelt, dann allerdings über einen Multiplexer **251** abwechselnd einem ersten Operationsverstärker **253** mit Rückkoppelwiderstand **254** und einem zweiten Operationsverstärker **255** mit Rückkoppelwiderstand **256** zugeführt, so dass der erste Operationsverstärker **253** immer die Signale erhält, welche während des Scannens entlang des ersten Teilpfads **223** erzeugt werden und der zweite Operationsverstärker **255** immer die Signale erhält, welche während des Scannens entlang des zweiten Teilpfads **225** erzeugt werden. Der Multiplexer **251** umfasst einen Synchronisationseingang bzw. Rücksetzeingang **252**, über welchen er jeweils beim Start des Durchlaufens des ersten Teilpfads **223** zurückgesetzt wird.

[0059] Die Ausgänge der Operationsverstärker **253**, **255** sind jeweils mit einem Latch-Speicher **259** bzw. **261** verbunden, welche ein Maximum des verstärkten Signals speichern und an einen nachfolgenden Komparator **263** ausgeben. Ein an einem Ausgang **265** des Komparators bereitgestelltes Signal repräsentiert somit die Differenz der während des Durchlaufens des ersten bzw. des zweiten Teilpfads detektierten Lichtintensitäten. Die Latch-Speicher **259** und **261** weisen hierzu noch jeweils einen Rücksetzeingang **260** bzw. **262** auf, so dass sie vor einem jeden

Durchlaufen der ersten und der zweiten Scanpfade gemeinsam mit dem Multiplexer **251** zurückgesetzt werden können.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Kalibrieren eines Laserscanners, umfassend:

Scannen eines Laserstrahls (**17**) mit dem Laserscanner (**74**) entlang eines Scanpfads (**221**) und Detektieren von durch Auftreffen von Laserlicht auf wenigstens einen Detektionsquerschnitt (**213**) hervorgerufenen Lichtintensitäten (**235**, **237**), und

Bestimmen einer Position des wenigstens einen Detektionsquerschnitts (**213**) relativ zu dem Laserscanner (**74**) basierend auf den detektierten Lichtintensitäten (**235**, **237**),

wobei der Scanpfad (**221**) in einer Ebene (**214**), welche den wenigstens einen Detektionsquerschnitt (**213**) enthält, einen ersten Teilpfad (**223**) und einen zweiten Teilpfad (**225**) umfasst, welche sich nebeneinander mit einem Abstand (d) voneinander erstrecken, welcher kleiner ist als ein Durchmesser des wenigstens einen Detektionsquerschnitts (**213**) plus einem Durchmesser des Laserstrahls (**17**) in der Ebene (**214**), welche den wenigstens einen Detektionsquerschnitt (**213**) enthält, und welcher größer ist als ein 0,3-faches des Durchmessers des Laserstrahls (**17**) in der Ebene (**214**), welche den wenigstens einen Detektionsquerschnitt (**213**) enthält, oder/und welcher größer ist als ein 0,3-faches des Durchmessers des wenigstens einen Detektionsquerschnitts (**213**).

2. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend Vergleichen von detektierten ersten Lichtintensitäten, welche durch das Auftreffen von Laserlicht auf den wenigstens einen Detektionsquerschnitt (**213**) beim Scannen entlang des ersten Teilpfads (**223**) hervorgerufen werden, mit detektierten zweiten Lichtintensitäten, welche durch das Auftreffen von Laserlicht auf den wenigstens einen Detektionsquerschnitt (**213**) beim Scannen entlang des zweiten Teilpfads (**225**) hervorgerufen werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, ferner umfassend wiederholtes Abändern des Scanpfads (**221**) durch Verlagern des ersten und des zweiten Teilpfads (**223**, **225**) solange, bis die ersten und die zweiten detektierten Lichtintensitäten im Wesentlichen gleich sind.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Position des wenigstens einen Detektionsquerschnitts (**213**) relativ zu dem Laserscanner (**74**) als in der Mitte zwischen dem ersten und dem zweiten Teilpfad (**223**, **225**) liegend bestimmt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der erste Teilpfad (**223**) und der zweite Teilpfad (**225**) sich parallel zueinander oder/und mit konstantem Abstand (d) voneinander erstrecken.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der erste Teilpfad (**223**) und der zweite Teilpfad (**225**) sich jeweils geradlinig erstrecken.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der erste Teilpfad (**223**) und der zweite Teilpfad (**225**) in einander entgegengesetzte Richtungen abgescannt werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der Scanpfad (**221**) in der Ebene (**214**), welche den wenigstens einen Detektionsquerschnitt (**213**) enthält, einen dritten Teilpfad (**223'**) und einen vierten Teilpfad (**225'**) umfasst, welche sich nebeneinander mit einem Abstand voneinander erstrecken, welcher kleiner ist als ein Durchmesser des wenigstens einen Detektionsquerschnitts (**213**) plus einem Durchmesser des Laserstrahls (**17**) in der Ebene (**214**), welche den wenigstens einen Detektionsquerschnitt (**213**) enthält, und welcher größer ist als ein 0,3-faches des Durchmessers des Laserstrahls (**17**) in der Ebene (**214**), welche den wenigstens einen Detektionsquerschnitt (**213**) enthält, oder/und welcher größer ist als ein 0,3-faches des Durchmessers des wenigstens einen Detektionsquerschnitts (**213**), und wobei der dritte Teilpfad (**223'**) im Bereich des wenigstens einen Detektionsquerschnitts (**213**) mit dem ersten Teilpfad (**223**) einen kleinsten Winkel einschließt, der größer als 30° ist.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei der kleinste Winkel größer als 50° ist.

10. Verfahren nach Anspruch 8, wobei der kleinste Winkel größer als 70° ist.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei der wenigstens eine Detektionsquerschnitt (**213**) an einem Objekthalter (**101**) vorgesehen ist, und wobei das Verfahren ferner umfasst: Bestimmen einer Koordinatentransformation zwischen einem Koordinatensystem der Laserscanner (**74**) und einem Koordinatensystem des Objekthalters (**101**) basierend auf der Position des wenigstens einen Detektionsquerschnitts (**213**) relativ zu dem Laserscanner (**74**).

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei an dem Objekthalter (**101**) zwei oder mehr Detektionsquerschnitte (**213**) vorgesehen sind, wobei die Positionen der zwei oder mehr Detektionsquerschnitte (**213**) relativ zu dem Laserscanner (**74**) basierend auf den detektierten Lichtintensitäten bestimmt werden, und wobei die Koordinatentransformation basierend auf den Positionen der zwei oder mehr Detektionsquerschnitte (**213**) relativ zu dem Laserscanner (**74**) bestimmt wird.

13. Verwendung des Verfahrens nach Anspruch 11 oder 12 zum Bearbeiten eines an dem Objekthalter

(101) gehaltenen Objekts (205) mit einem durch den Laserscanner (74) gerichteten Laserstrahl (17).

Objekt (205) Material abzuscheiden oder Material zu entfernen.

14. Bearbeitungssystem umfassend:
 einen Laserscanner (74),
 wenigstens einen Lichtdetektor (207) für auf einen vorbestimmten Detektionsquerschnitt (213) treffendes Laserlicht, und
 eine den Laserscanner (74) kontrollierende und Detektionssignale des wenigstens einen Lichtdetektors (207) empfangende Steuerung (80), welche dazu konfiguriert ist, den Laserscanner (74) so zu kontrollieren, dass der Laserstrahl (17) entlang eines Scanpfads (221) gescannt wird, der in einer Ebene (214), welche den Detektionsquerschnitt (213) enthält, einen ersten Teilpfad (223) und einen zweiten Teilpfad (225) umfasst, welche sich nebeneinander mit einem Abstand (d) voneinander erstrecken, welcher kleiner ist als ein Durchmesser des Detektionsquerschnitts (213) plus einem Durchmesser des Laserstrahls (17) in der Ebene (214), welche den Detektionsquerschnitt (213) enthält, und welcher größer ist als ein 0,3-faches des Durchmessers des Laserstrahls (17) in der Ebene (214), welche den Detektionsquerschnitt (213) enthält, oder/und welcher größer ist als ein 0,3-faches des Durchmessers des Detektionsquerschnitts (213), und wobei die Steuerung (80) ein Steuerungsmodul umfasst, welches dazu konfiguriert ist, detektierte erste Lichtintensitäten, welche durch das Auftreffen von Laserlicht auf den Detektionsquerschnitt (213) beim Scannen entlang des ersten Teilpfads (223) hervorgerufen werden, mit detektierten zweiten Lichtintensitäten, welche durch das Auftreffen von Laserlicht auf den Detektionsquerschnitt (213) beim Scannen entlang des zweiten Teilpfads (225) hervorgerufen werden, zu vergleichen.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

15. Bearbeitungssystem nach Anspruch 14, wobei das Steuerungsmodul dazu konfiguriert ist, ein Signal zu erzeugen, welches eine Differenz zwischen den ersten Lichtintensitäten und den zweiten Lichtintensitäten repräsentiert.

16. Bearbeitungssystem nach Anspruch 15, wobei die Steuerung (80) dazu konfiguriert ist, den Laserscanner (74) so zu kontrollieren, dass der erste und der zweite Teilpfad (223, 225) solange verlagert werden, bis die Differenz minimiert ist.

17. Bearbeitungssystem nach einem der Ansprüche 14 bis 16, ferner umfassend wenigstens eine Partikelstrahlsäule (3, 7), welche dazu konfiguriert ist, eine Position des Detektionsquerschnitts (213) relativ zu der Partikelstrahlsäule (3, 7) zu detektieren.

18. Bearbeitungssystem nach Anspruch 17, wobei das Bearbeitungssystem dazu konfiguriert ist, mit der wenigstens einen Partikelstrahlsäule (3, 7) an einem

Anhängende Zeichnungen

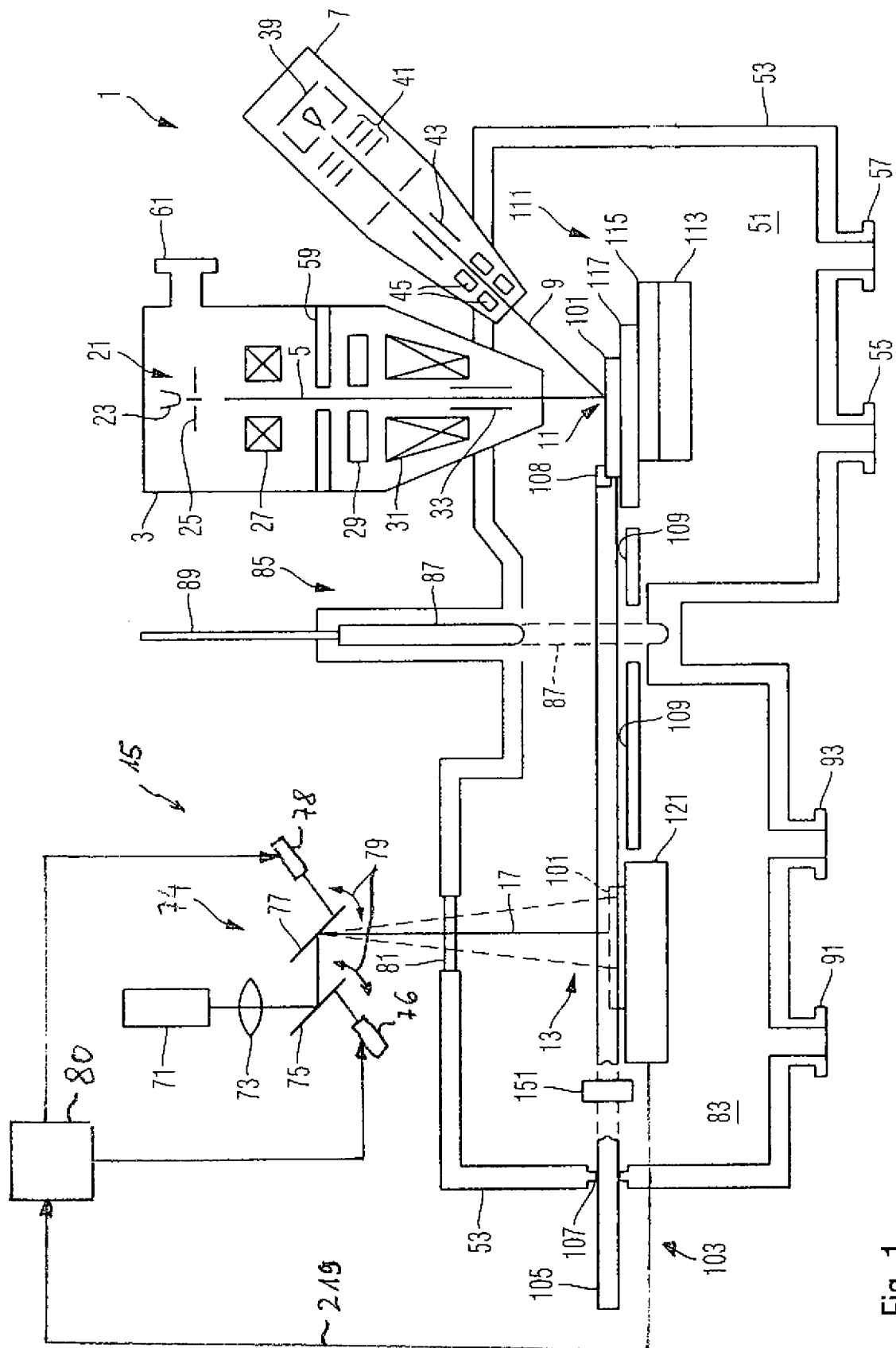


Fig. 1

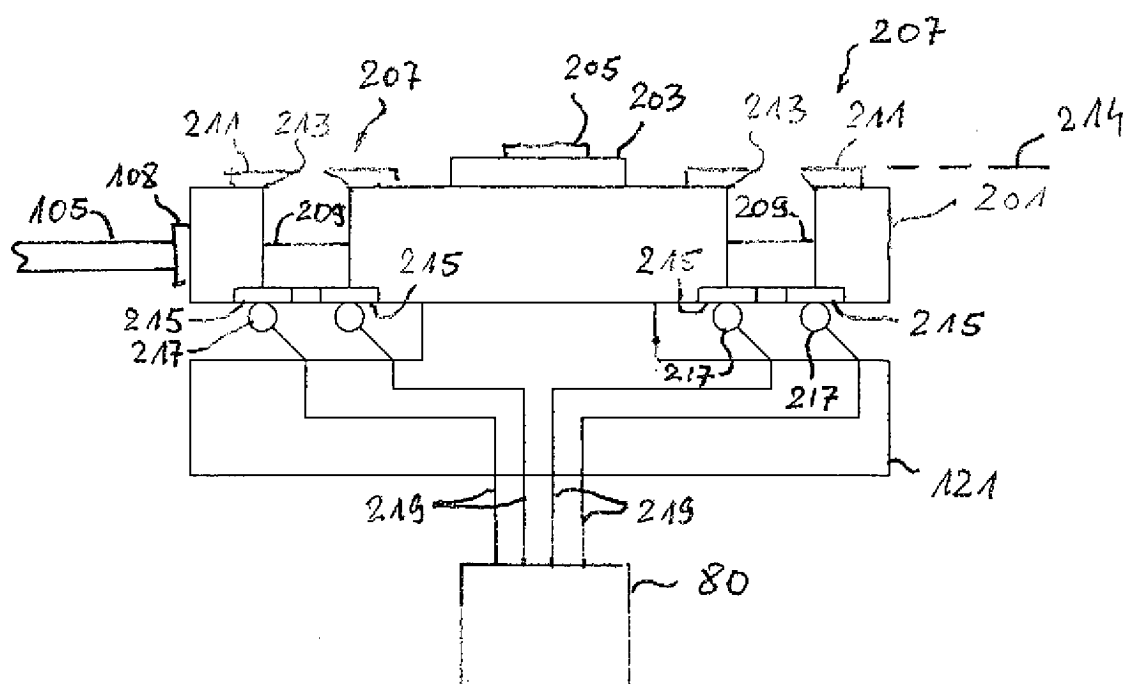


Fig. 2

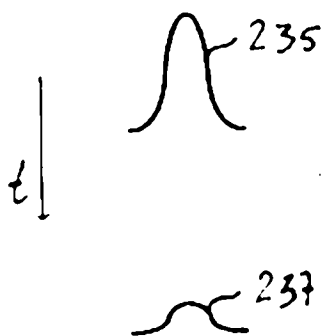
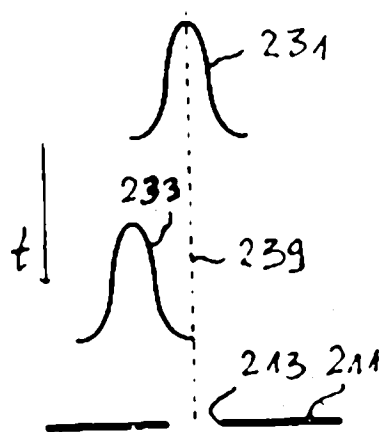
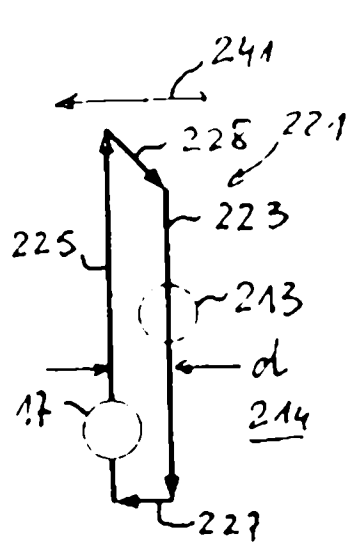


Fig. 3a

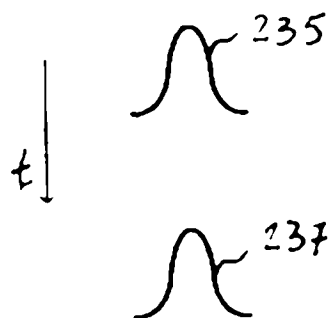
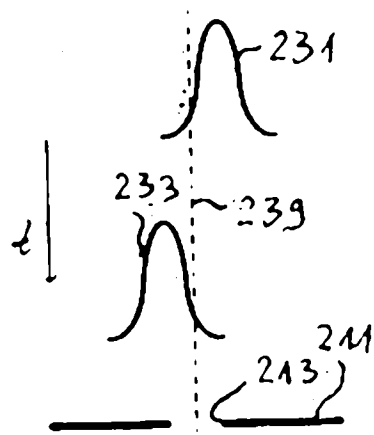
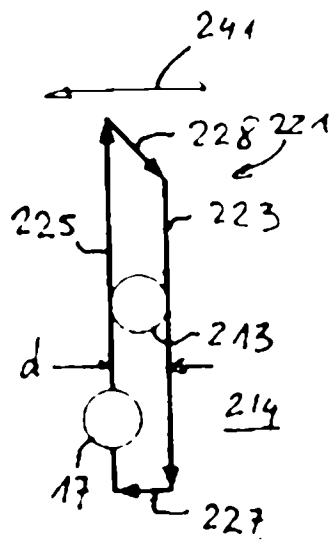


Fig. 3b

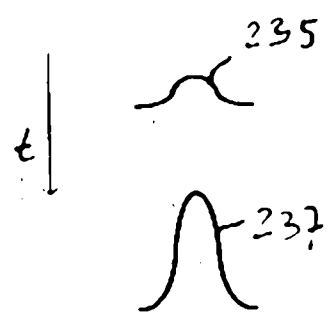
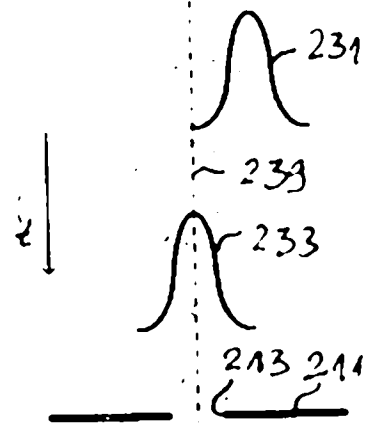
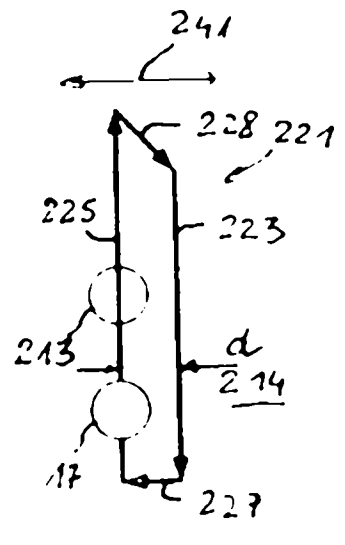


Fig. 3c

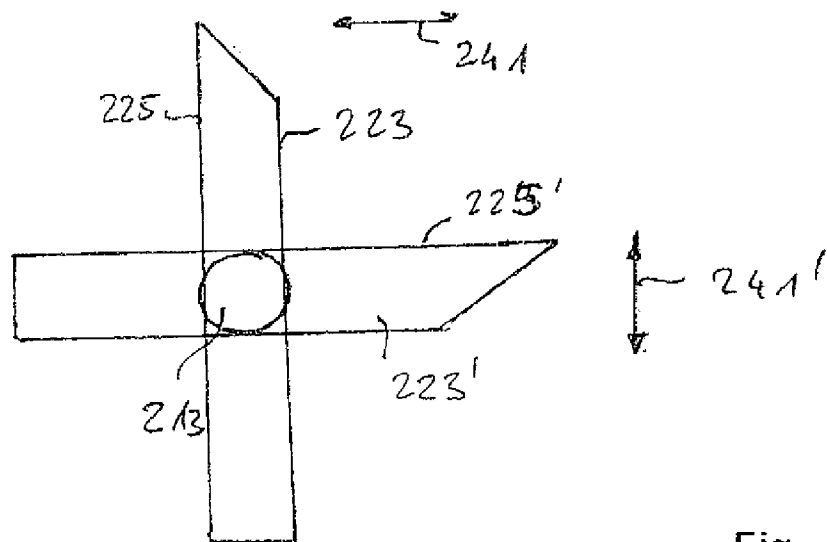


Fig. 4

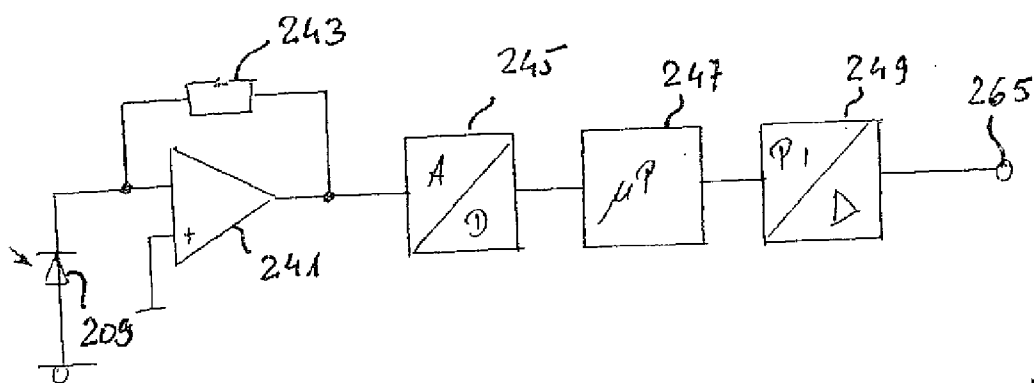


Fig. 5

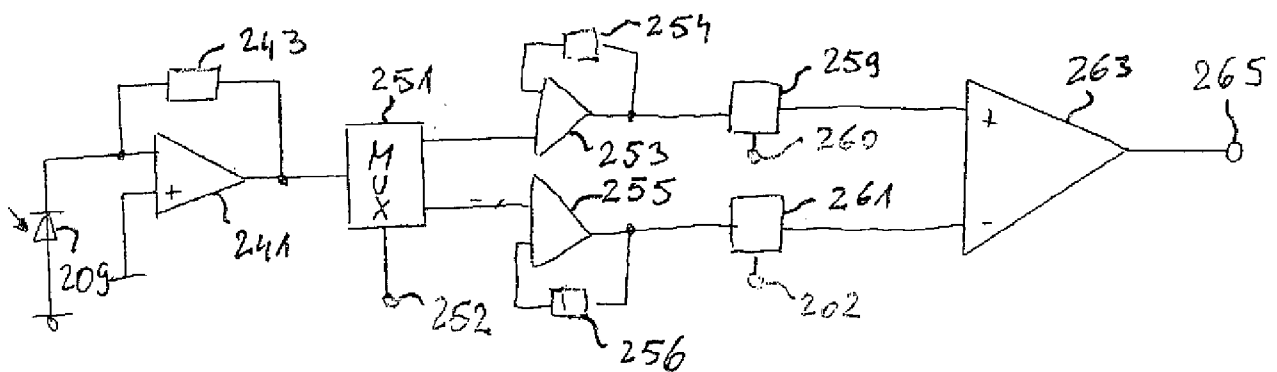


Fig. 6