

(19)



(11)

EP 4 279 188 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

25.06.2025 Patentblatt 2025/26

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

B07C 5/344 ^(2006.01) **B07C 5/00** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **22174653.0**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

B07C 5/342

(22) Anmeldetag: **20.05.2022**

(54) **SYSTEM ZUM ANALYSIEREN UND SORTIEREN EINES MATERIALTEILS**

SYSTEM FOR ANALYZING AND SORTING AN ELEMENTARY MATERIAL

SYSTÈME D'ANALYSE ET DE TRI D'UN ELEMENT DE MATÉRIAU

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

• **GILLNER, Ronald**

53913 Swisttal (DE)

• **WINTERSCHEID, Dennis**

50374 Erftstadt (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

22.11.2023 Patentblatt 2023/47

(74) Vertreter: **Brinkmann & Partner**

Patentanwälte

Partnerschaft mbB

Am Seestern 8

40547 Düsseldorf (DE)

(73) Patentinhaber: **Hydro Aluminium Recycling**

Deutschland GmbH

41542 Dormagen (DE)

(72) Erfinder:

• **LASKA, Claudius**

53639 Königswinter (DE)

(56) Entgegenhaltungen:

US-B2- 10 088 425

EP 4 279 188 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein System zum Analysieren und Sortieren eines Materialteils, insbesondere eines Schrottteils aus Aluminium, umfassend ein Zuführmittel zum Transportieren des Materialteils, eine Sortiereinheit, die dazu eingerichtet ist, das Materialteil einer von zwei Fraktionen zuzuführen, eine Lasereinrichtung, die dazu eingerichtet ist, mit einem sich entlang einer Strahlachse ausbreitenden Laserstrahl auf einer Oberfläche des Materialteils ein Plasma zu erzeugen, ein Spektrometersystem, das dazu eingerichtet ist, eine Spektralanalyse eines von dem laserinduzierten Plasma emittierten Plasmalichts durchzuführen und in Entsprechung eines Ergebnisses der durchgeführten Spektralanalyse ein Ausgangssignal zu erzeugen, und eine Steuervorrichtung, die dazu eingerichtet ist, das Ausgangssignal zu empfangen und die Sortiereinheit basierend auf dem Ausgangssignal und einem Sortierkriterium zu betreiben, wobei das Spektrometersystem ein Spektrometer und eine mit dem Spektrometer optisch verbundene Detektionseinheit aufweist, wobei die Detektionseinheit ein Objektiv aufweist, dem ein Detektionskegel zugeordnet ist, der in einem Überlappungsbereich mit dem Laserstrahl einen Plasmadetektionsbereich ausbildet.

[0002] Ein System der vorbeschriebenen, d. h. gattungsgemäßen Art ist aus der EP 3 352 919 B1 bekannt. Das vorbekannte System ermöglicht eine Sortierung von Materialteilen, insbesondere von Schrottteilen aus Aluminium, auf Basis einer laserinduzierten Plasmaspektroskopie, auch als LIBS (Laser-induced breakdown spectroscopy) bezeichnet. Dabei wird die laserinduzierte Plasmaspektroskopie zur Bestimmung einer elementspezifischen Zusammensetzung eines Materialteils, d. h. einer Probe mithilfe eines Plasmas eingesetzt. Das Plasma wird mit hochintensiver, fokussierter Laserstrahlung an einer Oberfläche des Materialteils erzeugt. Vom Plasma emittiertes Licht wird detektiert und spektral ausgewertet, um auf eine elementare Zusammensetzung des Materialteils rückzuschließen.

[0003] Gemäß dem vorbekannten System werden zu sortierende Materialteile einem Zuführmittel aufgegeben. Bei dem Zuführmittel kann es sich beispielsweise um schwingungsbewegte Platten handeln, die eine Zuführfläche bereitstellen, entlang derer die Materialteile bewegt werden.

[0004] Mittels des Zuführmittels werden die zu analysierenden und sortierenden Materialteile gemäß der EP 3 352 919 B1 einer Rutsche aufgegeben. Der Schwerkraft folgend rutschen die Materialteile die Rutsche herunter und verlassen diese über eine untere Randkante der Rutsche. Von hier aus bewegen sich die zu analysierenden und zu sortierenden Materialteile nach wie vor der Gewichtskraft folgend im freien Fall durch die Umgebungsatmosphäre hindurch. Dabei dienen das Zuführmittel und die Rutsche dafür, dass eine Vereinzelung der Materialteile stattfindet und diese im freien Fall durch einen räumlich definierten Fallkorridor hindurchbewegt werden.

[0005] Während des freien Falls findet für jedes die Rutsche verlassende Materialteil eine laserinduzierte Plasmaspektroskopie statt. Zu diesem Zweck ist eine Lasereinrichtung vorgesehen, die dazu eingerichtet ist, mit einem sich entlang einer Strahlachse ausbreitenden Laserstrahl auf einer Oberfläche eines Materialteils ein Plasma zu erzeugen. Des Weiteren ist ein Spektrometersystem vorgesehen, das dazu eingerichtet ist, eine Spektralanalyse eines von dem laserinduzierten Plasma emittierten Plasmalichts durchzuführen und in Entsprechung eines Ergebnisses der durchgeführten Spektralanalyse ein Ausgangssignal zu erzeugen.

[0006] Dieses Ausgangssignal dient dann in Kombination mit einem Sortierkriterium im Weiteren einer Sortiereinheit dazu, die die Rutsche verlassenden Materialteile einer von zwei Fraktionen zuzuführen. Als Sortiereinheit kann beispielsweise eine Luftdüse zum Einsatz kommen, die mittels der Steuervorrichtung entsprechend angesteuert wird. Aus dem Strom an Materialteilen, die die Rutsche verlassen, können so unter Luftdruckeinwirkung bestimmte Materialteile aussortiert werden. Im Ergebnis stehen so eine Fraktion von aussortierten und eine Fraktion von nicht aussortierten Materialteilen.

[0007] Typischerweise dient das vorbekannte System dazu, Materialteile einer bestimmten Zusammensetzung zu erkennen und von Materialteilen einer anderen Zusammensetzung zu trennen. Dabei erfolgt eine solche Trennung entweder deshalb, weil ein Materialteil einer ungewünschten Zusammensetzung erkannt und mittels der Sortiereinheit ausgeschleust wird oder weil die Zusammensetzung eines Materialteils nicht sicher festgestellt werden konnte und deshalb eine Ausschleusung mittels der Sortiereinheit stattfindet. Die Fraktion der ausgeschleusten Materialteile setzt sich mithin zusammen aus in ihrer Zusammensetzung eindeutig identifizierten und nicht gewünschten Materialteilen einerseits und in ihrer Zusammensetzung nicht eindeutig identifizierten Materialteilen andererseits.

[0008] Obgleich sich das vorbeschriebene System im alltäglichen Praxiseinsatz bewährt hat, besteht Verbesserungsbedarf. So hat sich insbesondere herausgestellt, dass es trotz eines definierten Fallkorridors zur Ausschleusung von Materialteilen kommt, weil deren Zusammensetzung nicht eindeutig identifiziert werden kann. Es werden dabei auch solche Materialteile ausgeschleust, die bei einer eindeutigen Identifizierung nicht ausgeschleust worden wären. Diese Fehlausschleusung ist insbesondere dadurch begründet, dass Materialteile aufgrund ihrer geometrischen Ausgestaltungsform trotz Einhaltung des Fallkorridors am Plasmadetektionsbereich des Objektivs der Detektionseinheit vorbeifallen. Dies ist insbesondere bei sphärisch oder teilsphärisch ausgebildeten Materialteilen der Fall.

[0009] Eine Fehlaussortierung führt in nachteiliger Weise zu einer verminderten Sortiereffizienz. Diese könnte gegebenenfalls noch dadurch gesteigert werden, dass der Fallkorridor enger gefasst wird. Dies ist aber technisch aufwändig und führt zudem zu einer Verlangsamung der Sortiergeschwindigkeit. Im Übrigen kann hierdurch auch nicht sicher

gewährleistet werden, dass zu analysierende Materialteile nicht doch am Plasmadetektionsbereich vorbeifallen, denn insbesondere sphärisch oder halbsphärisch ausgebildete Materialteile werden systemseitig sowohl vom Zuführungsmittel als auch von der Rutsche lagesicher geführt, können aber dann im freien Fall eine Ausrichtung annehmen, die eine sichere Detektion der Materialzusammensetzung nicht mehr ermöglicht.

5 **[0010]** Ein weiteres gattungsgemäßes System ist aus der US 10 088 425 B2 bekannt. Dabei beschreibt diese Entgegenhaltung auch eine Ausführungsform, wonach eine durchbrochene Spiegelanordnung zum Einsatz kommt. Konkret ist ein zwischen einer Fokuslinse und einem Laser angeordneter Spiegel vorgesehen, der ein Loch aufweist, durch das hindurch ein von dem Laser erzeugter Laserstrahl zur Fokuslinse geführt ist. Der Fokuslinse ist ein Detektionskegel zugeordnet, der in einem Überlappungsbereich mit dem Laserstrahl einen Plasmadetektionsbereich ausbildet.

10 Dieses vorbekannte System verfügt über eine weitere Fokuslinse, der ein mit einem Detektor zusammenwirkender Detektionskegel zugeordnet ist. Dabei wird von einem Plasma ausgehendes Rücklicht mittels der ersten Fokuslinse parallel gerichtet, am Spiegel umgelenkt und alsdann mittels der weiteren Fokuslinse in Strahlrichtung auf den Detektor fokussiert.

[0011] Es ist deshalb ausgehend vom vorbeschriebenen Stand der Technik die **Aufgabe** der Erfindung, ein System der eingangs genannten Art konstruktiv dahingehend weiterzuentwickeln, dass eine gesteigerte Sortiereffizienz erreicht ist.

[0012] Zur **Lösung** dieser Aufgabe wird mit der Erfindung vorgeschlagen, dass die Detektionseinheit ein weiteres Objektiv aufweist, dem ein weiterer Detektionskegel zugeordnet ist, der in einem weiteren Überlappungsbereich mit dem Laserstrahl einen weiteren Plasmadetektionsbereich ausbildet, wobei die Objektive in Relation zueinander derart angeordnet und/oder ausgerichtet sind, dass der Plasmadetektionsbereich und der weitere Plasmadetektionsbereich entlang der Strahlachse des Laserstrahls versetzt angeordnet sind und zusammen einen Sichtbereich der Detektionseinheit ausbilden.

[0013] Die erfindungsgemäße Ausgestaltung erbringt in vorteilhafter Weise einen vergrößerten Detektionsbereich, und dies mit der Folge, dass ein Mehr an Materialteilen hinsichtlich ihrer Zusammensetzung sicher erkannt werden kann. In der Konsequenz ist das Sortierergebnis verbessert, da Fehlaussortierungen minimiert sind. Im Ergebnis ergibt sich eine in ihrer Effektivität gesteigerte Sortierung.

[0014] Der vergrößerte Detektionsbereich ergibt sich dadurch, dass im Unterschied zum Stand der Technik nicht nur ein Objektiv vorgesehen ist, sondern mehrere Objektive, mindestens also zwei Objektive. Bevorzugt sind indes mehr als zwei Objektive, beispielsweise drei, vier oder noch mehr Objektive.

[0015] Je Objektiv stellt sich ein Plasmadetektionsbereich ein. Bei vier Objektiven sind mithin vier Plasmadetektionsbereiche gegeben. Erfindungsgemäß ist nun ferner vorgesehen, dass die Objektive in Relation zueinander derart angeordnet und/oder ausgerichtet sind, dass die Plasmadetektionsbereiche entlang der Strahlachse des Laserstrahls versetzt angeordnet sind und zusammen den Sichtbereich der Detektionseinheit ausbilden. Dabei stellt der Sichtbereich den sich insgesamt ergebenden Detektionsbereich dar, der sich aus den einzelnen Plasmadetektionsbereichen zusammensetzt und mithin im Unterschied zum Stand der Technik deutlich vergrößert ist.

[0016] Gemäß dem Stand der Technik wird also der Detektionsbereich durch nur einen Plasmadetektionsbereich eines Objektives gebildet. Entlang der Strahlachse des Laserstrahls kann sich ein solcher Plasmadetektionsbereich typischerweise über eine Strecke von 8 bis 10 mm erstrecken. Die erfindungsgemäße Zusammensetzung des Sichtbereichs der Detektionseinheit aus einzelnen entlang der Strahlachse versetzt angeordneten Plasmadetektionsbereichen führt zu einem Gesamtdetektionsbereich, der in Richtung der Strahlachse eine Erstreckung von 20 mm, 30 mm, 40 mm oder mehr aufweist. Hierdurch ist in vorteilhafter Weise erreicht, dass aufgrund ihrer geometrischen Ausgestaltung ansonsten nicht detektierbare Materialteile sicher erkannt werden können, so auch insbesondere sphärisch oder teilsphärisch ausgebildete Materialteile.

[0017] Im Ergebnis erlaubt das erfindungsgemäße System eine verbesserte Sortierung, da der Anteil an aussortierten Materialteilen, die deshalb aussortiert werden, weil ihre Zusammensetzung nicht sicher identifiziert werden kann, minimiert ist.

[0018] Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung ist vorgesehen, dass ein Plasmadetektionsbereich dazu eingerichtet ist, dass im Falle eines im Plasmadetektionsbereich vorliegenden Plasmas ein Messanteil des Plasmalichts von dem zugehörigen Objektiv erfasst wird. Wenn also in einem Plasmabereich ein laserinduziertes Plasma liegt, zumindest teilweise, so wird ein Messanteil des emittierten Plasmalichts von dem zugehörigen Objektiv erfasst. Bei erfindungsgemäß mehreren Objektiven führt dies dazu, dass die Detektionseinheit Plasmalicht in Form von Messanteilen einzelner Objektive erfassen kann.

[0019] Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung ist vorgesehen, dass die Detektionseinheit eine Objektivhalterung aufweist, die eine Mehrzahl von Objektiven gemeinschaftlich trägt. Gemäß dieser Weiterbildung wird eine kompakte Bauform erreicht. Die Detektionseinheit verfügt über nur eine Objektivhalterung. Diese trägt sämtliche Objektive, die nah benachbart zueinander angeordnet sein können. Es ist so eine einfach zu handhabende und kompakte Bauform sichergestellt.

[0020] Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung ist vorgesehen, dass die Plasmadetektionsbereiche entlang der Strahlachse ineinander übergehend oder voneinander beabstandet angeordnet sind. Alternativ oder zusätzlich können

sich die Plasmadetektionsbereiche entlang der Strahlachse jeweils über 1/10 bis 1/4 des Sichtbereichs erstrecken. Es ist mithin möglich, insbesondere nach Sortieraufgabe einen sich insgesamt ergebenden Detektionsbereich durch entsprechende Anordnung der Plasmadetektionsbereiche auszubilden.

[0021] Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung ist vorgesehen, dass die Objektivhalterung eine optische Durchgangsöffnung bereitstellt, durch die hindurch die Strahlachse verläuft. Die Objektivhalterung verfügt mithin über eine Durchtrittsöffnung, durch die hindurch im bestimmungsgemäßen Verwendungsfall der Laserstrahl geführt ist, und zwar entlang der Strahlachse. Auch hierdurch wird die Ausbildung einer kompakten Bauform weiter gefördert.

[0022] Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung ist vorgesehen, dass die Objektivhalterung eine Halterungsplatte aufweist, die mehrere Objektivhalterungsöffnungen zur jeweiligen Aufnahme eines Objektivs und die optische Durchgangsöffnung für den Laserstrahl bereitstellt, wobei die Objektivhalterungsöffnungen um die Durchgangsöffnung herum verteilt angeordnet sind.

[0023] Gemäß dieser bevorzugten Ausführungsform verfügt die Objektivhalterung über eine Halterungsplatte. Diese Halterungsplatte dient der Anordnung der einzelnen Objektive. Dabei ist je Objektiv eine Öffnung vorgesehen, durch die hindurch das Objektiv geführt und an der Halterungsplatte befestigt ist. Die Halterungsplatte weist des Weiteren die Durchgangsöffnung für den Laserstrahl auf. Dabei ist es besonders bevorzugt, die Objektivhalterungsöffnungen um die Durchgangsöffnung für den Laserstrahl herum verteilt anzuordnen. Auch diese konstruktive Maßnahme unterstützt die Ausgestaltung einer kompakten Bauform.

[0024] Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung ist vorgesehen, dass sich ein Detektionskegel entlang einer Beobachtungsachse erstreckt, die unter einem Beobachtungswinkel zur Strahlachse verläuft, wobei der Beobachtungswinkel zwischen 0° und 90°, vorzugsweise zwischen 3° und 60°, noch mehr bevorzugt zwischen 5° und 25° beträgt. Die Einrichtung der Beobachtungswinkel dient dazu, je Objektiv einen optimierten Plasmadetektionsbereich auszubilden, und zwar insbesondere hinsichtlich seiner geometrischen Positionierung. Dabei können je nach Ausgestaltung des gewünschten Sichtfensters unterschiedliche Beobachtungswinkel für die einzelnen Objektive gewählt werden, unter Umständen auch so, dass einige Plasmadetektionsbereiche näher zueinander liegen als andere. Bevorzugt ist es aber indes, die Beobachtungswinkel der einzelnen Objektive in etwa gleich groß auszubilden, beispielsweise mit einer maximalen Abweichung von einander von unter 3°.

[0025] Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung ist vorgesehen, dass das Spektrometersystem ein Lichtleitsystem aufweist, das die Detektionseinheit mit dem Spektrometer optisch verbindet.

[0026] Das Spektrometersystem verfügt mithin über ein Spektrometer, eine Detektionseinheit und Lichtleitsystem, wobei das Lichtleitsystem dazu dient, die Detektionseinheit mit dem Spektrometer optisch zu koppeln. Das über die Detektionseinheit eingefangene Plasmalicht wird mithin mittels des Lichtleitsystems zum Spektrometer überführt, wo dann die Spektralanalyse stattfinden kann.

[0027] Das Lichtleitsystem verfügt gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung über eine Mehrzahl von optischen Eingängen. Bevorzugterweise stellt das Lichtleitsystem eine der Anzahl der Objektive entsprechende Anzahl an optischen Eingängen bereit, wobei jeder optische Eingang des Lichtleitsystems einem Objektiv zugeordnet ist.

[0028] Das Lichtleitsystem verfügt des Weiteren über einen optischen Ausgang. Dabei dient der optische Ausgang zur Abgabe der mit den Objektiven erfassten Messanteile. Die eingangsseitig je Objektiv aufgenommenen Messanteile werden mithin gemeinschaftlich über den nur einen optischen Ausgang an das Spektrometer abgegeben.

[0029] Von Vorteil dieser Ausgestaltung ist, dass beim Spektrometer zeitgleich sämtliche von den Objektiven je Materialteil erfassten Plasmalichtmesswerte ankommen. Es kann mithin auch eine gleichzeitige Verarbeitung aller Messwerte stattfinden. Dies reduziert deutlich die erforderliche Rechnerleistung im Unterschied zu einer separaten Analyse der einzelnen Messwerte.

[0030] Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung ist vorgesehen, dass das Lichtleitsystem mehrere Lichtleitfasern aufweist, die jeweils einen optischen Eingang bereitstellen und die zu einem gemeinsamen optischen Ausgang zusammengefasst sind. Demnach sind Lichtleitfasern vorgesehen, die eingangsseitig jeweils mit einem Objektiv gekoppelt sind. Ausgangsseitig sind die Lichtleitfasern an einen gemeinsamen optischen Ausgang angeschlossen, der in schon vorherbeschriebener Weise im Spektrometer optisch mündet.

[0031] Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung ist vorgesehen, dass die Lasereinrichtung, das Spektrometersystem und die Steuereinrichtung in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht sind und ein LIBS-Modul ausbilden.

[0032] Ein solchen LIBS-Modul kann in einfacher Weise gehandhabt, insbesondere montiert und gewartet werden. Es ist zudem kompakt im Aufbau und aufgrund der Einhausung robust ausgebildet und vor äußeren mechanischen Einflüssen geschützt.

[0033] Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung ist vorgesehen, dass das Zuführmittel zum Transportieren des Materialteils dazu eingerichtet ist, das Materialteil entlang einer Zuführfläche bis hin zu einem oberen Abschnitt einer Rutsche zu transportieren. Gemäß dieser bevorzugten Ausführungsform wird das Materialteil dem Zuführmittel aufgegeben. Von dort aus gelangt es zu einer Rutsche, wobei es entlang einer Zuführfläche des Zuführmittels transportiert wird, und zwar bis hin zu einem oberen Abschnitt der Rutsche. Sobald das Materialteil die Rutsche erreicht hat, bewegt es sich der Schwerkraft folgend die Rutsche hinunter. Das Zuführmittel kann beispielsweise als schwingbewegte Platte ausge-

bildet sein, was eine Vereinzelung der dem Zuführmittel aufgegebenen Materialteile bewirkt. Der Sinn und Zweck der Rutsche ist es insbesondere, das Materialteil auszurichten und in einen definierten Fallkorridor zu übergeben.

[0034] Gemäß einer alternativen Ausführungsform kann das Zuführmittel aber auch als umlaufendes Förderband ausgebildet sein. In diesem Fall liegen die zu analysierenden und zu sortierenden Materialteile auf dem Förderband auf und werden mittels diesem fortbewegt.

[0035] Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung ist vorgesehen, dass die Sortiereinheit einer dem oberen Abschnitt der Rutsche gegenüberliegenden unteren Randkante der Rutsche zugeordnet ist, wobei die Sortiereinheit dazu eingerichtet ist, das die Rutsche über die untere Randkante der Rutsche verlassende Materialteil einer von zwei Fraktionen zuzuführen.

[0036] Gemäß dieser bevorzugten Ausführungsform verlässt ein Materialteil die Rutsche im freien Fall und wird im freien Fall einer Analyse und einer Sortierung unterzogen. Zu diesem Zweck sind insbesondere die Lasereinrichtung sowie das Spektrometersystem in Höhenrichtung unterhalb der unteren Randkante der Rutsche angeordnet.

[0037] Alternativ hierzu kann aber auch vorgesehen sein, die Lasereinrichtung und/oder das Spektrometersystem oberhalb der Rutsche und/oder des Zuführmittels anzuordnen. Wenn beispielsweise das Zuführmittel als Transportband ausgebildet ist, so erfolgt eine Detektion bevorzugterweise von oben, wobei dann im Weiteren eine Aussortierung entweder dadurch stattfinden kann, dass ein mit Bezug auf das Transportband seitlicher Luftbeschuss vorgesehen ist oder es ist vorgesehen, dass eine Betrachtung der Materialteile zwar von oben stattfindet, ein Aussortieren aber erst erfolgt, nachdem die Materialteile das Förderband abgabeseitig verlassen haben und sich im freien Fall befinden. In diesem Fall kann eine Aussortierung aus allen beliebigen Himmelsrichtungen erfolgen.

[0038] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung anhand der Figuren. Dabei zeigen

Fig. 1 in schematischer Darstellung das erfindungsgemäße System;

Fig. 2 in schematischer Darstellung die Funktionsweise des erfindungsgemäßen LIBS-Moduls;

Fig. 3 in einer weiteren schematischen Darstellung die Funktionsweise des erfindungsgemäßen LIBS-Moduls;

Fig. 4 in schematischer Darstellung das erfindungsgemäße LIBS-Modul;

Fig. 5a und 5b in einer Draufsicht sowie in einer Seitenansicht eine erste Ausführungsform einer Detektionseinheit;

Fig. 6a und 6b in einer Draufsicht sowie in einer Seitenansicht eine zweite Ausführungsform einer Detektionseinheit und

Fig. 7 in vergrößerter schematischer Darstellung das Spektrometersystem gemäß dem erfindungsgemäßen System nach Fig. 1.

[0039] Fig. 1 lässt in schematischer Darstellung das erfindungsgemäße System 100 erkennen.

[0040] Das System 100 ist dazu eingerichtet, ein Materialteil 120 einer laserinduzierten Plasmaspektroskopie zu unterziehen und in Abhängigkeit des Ergebnisses der Spektralanalyse zu sortieren, wobei im gezeigten Ausführungsbeispiel zwei Fraktionen F1 und F2 vorgesehen sind, denen das Materialteil 120 zugeordnet werden kann. Zur Aufnahme der jeweiligen Fraktionen F1 und F2 dienen Sammelstellen 170, beispielsweise in Form von Behältern.

[0041] Wie die schematische Darstellung nach Figur 1 ferner erkennen lässt, verfügt das System 100 über ein Zuführmittel 110 gefolgt von einer Rutsche 130. Im bestimmungsgemäßen Verwendungsfall wird ein Materialteil 120 dem Zuführmittel 110 aufgegeben. Das Zuführmittel 110 dient dem Transport des Materialteils 120 entlang einer vom Zuführmittel bereitgestellten Zuführfläche 111, und zwar bis zu einem oberen Abschnitt 131 der Rutsche 130. Hier wird das Materialteil 120 vom Zuführmittel 110 auf die Rutsche 130 übergeben.

[0042] Das Zuführmittel 110 kann als schwingbewegte Platte ausgebildet sein. Es dient insbesondere dazu, eine Mehrzahl von auf das Zuführmittel 110 aufgegebenen Materialteilen 120 zu vereinzeln, so dass diese im weiteren voneinander beabstandet der Rutsche 130 zugeführt werden können.

[0043] Ein auf die Rutsche 130 übergebenes Materialteil 120 rutscht der Schwerkraft folgend die Rutsche 130 hinunter, bis zur unteren Randkante 132 der Rutsche, die dem oberen Abschnitt 131 der Rutsche 130 gegenüberliegend ausgebildet ist. Es ist insbesondere die Aufgabe der Rutsche 130, das Materialteil 120 auszurichten und in einen definierten Fallkorridor zu überführen.

[0044] Mit Verlassen der Rutsche 130 bewegt sich das Materialteil 120 nach wie vor unter Schwerkrafteinwirkung im freien Fall durch die Umgebungsatmosphäre. Dabei passiert es das erfindungsgemäße Spektrometersystem 1. Dieses sorgt für eine Analyse des Materialteils 120, wie des im Weiteren noch näher beschrieben werden wird. In Entsprechung eines Ergebnisses einer durchgeführten Spektralanalyse erzeugt das Spektrometersystem 1 ein Ausgangssignal. Dieses wird einer Steuereinrichtung 150 zugeführt, die in Abhängigkeit dieses Ausgangssignals einerseits und einem Sortierkriterium andererseits eine Sortiereinheit 160 betreibt, das heißt ansteuert. Mittels dieser Sortiereinheit 160 wird das Materialteil 120 in seinem freien Fall entweder abgelenkt oder es findet keine Ablenkung statt. Für den Fall, dass keine

Ablenkung stattfindet, gelangt das Materialteil 120 zur Sammelstelle 170 der Fraktion F2. Andernfalls, wenn also eine Aussortierung mittels der Sortiereinheit 160 stattfindet, gelangt das Materialteil 120 zur Sammelstelle 170 für die Fraktion F1.

[0045] Zur Analyse der Zusammensetzung des Materialteils 120 dient das Spektrometersystem 1, das Teil eines erfindungsgemäßen LIBS-Moduls 180 ist. Dabei gehören zum LIBS-Modul 180 ferner eine Lasereinrichtung 140 sowie die Steuervorrichtung 150. Bevorzugterweise sind die Lasereinrichtung 140, das Spektrometersystem 1 und die Steuervorrichtung 150 in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht, was in Figur 1 nicht im Einzelnen dargestellt ist.

[0046] Die Lasereinrichtung 140 besteht ihrerseits aus weiteren Einzelkomponenten, beispielsweise einer Laserstrahlquelle 9, einer Lichtleitfaser 9A und einer Fokussieroptik 11, wie dies insbesondere anhand des Ausführungsbeispiels nach Figur 2 zu erkennen ist.

[0047] Wie dies im Weiteren noch anhand insbesondere der Figuren 2 und 3 erläutert werden wird, verfügt das Spektrometersystem 1 über eine Detektionseinheit 21, die ihrerseits mehrere Objektive bereitstellt. Jedem dieser Objektive ist ein Detektionskegel 35 zugeordnet, die in einem Überlappungsbereich mit dem Laserstrahl 5 jeweils einen Plasmadetektionsbereich 39 ausbilden. Diese Plasmadetektionsbereiche 39 sind entlang der Strahlachse des Laserstrahls 5 versetzt zueinander angeordnet und bilden zusammen einen Sichtbereich 41 der Detektionseinheit 21 aus. Der Sichtbereich 41 setzt sich mithin aus den einzelnen Plasmadetektionsbereichen 39 zusammen, wodurch der von der Detektionseinheit insgesamt abgedeckte Detektionsbereich definiert ist.

[0048] Fig. 2 zeigt eine schematische Übersicht eines Spektrometersystems 1 zur Spektralanalyse eines von einem Laserinduzierten Plasma 3 (schematisch als gefüllter Kreis angedeutet) emittierten Plasmalichts 3A. Detektierbares Plasmalicht 3A liegt beispielsweise im Wellenlängenbereich von UV-Licht, sichtbarem Licht, nahem Infrarotlicht und/oder Infrarotlicht; insbesondere kann zu detektierendes Plasmalicht im Spektralbereich von ca. 190 nm bis ca. 920 nm liegen. Bei LIBS wird das Plasma 3 mit einem Laserstrahl 5 auf einer Oberfläche 7A einer Probe 7 erzeugt.

[0049] Zur Erzeugung des, z. B. gepulsten, Laserstrahls 5 umfasst das Spektrometersystem 1 eine Laserstrahlquelle 9. Die Laserstrahlquelle 9 ist dazu ausgebildet, für die Plasmaerzeugung benötigte Laserstrahlparameter bereitzustellen. Der Laserstrahl 5 wird z. B. über eine Lichtleitfaser 9A einer Fokussieroptik 11 zugeführt und von dieser auf die Oberfläche 7A der Probe 7 (Materialteil 120 gemäß Figur 1) fokussiert. Die Fokussieroptik 11 kann insbesondere als eine Laserkopfkomponente mit Fokussierfunktion wie eine insbesondere auf das Spektrum oder die Pulsdauer oder die Pulsenergie einwirkende aktive Laserkomponente mit Fokussierfunktion ausgebildet sein. Die Ausbreitung des Laserstrahls 5 zwischen Fokussieroptik 11 und Probe 7 erfolgt entlang einer Strahlachse 5A. Beispielhafte Fokusedurchmesser ($1/e^2$ -Strahldurchmesser in der Strahltaile) und Fokusslängen (doppelte Rayleigh-Längen) liegen im Bereich von $<50\text{ }\mu\text{m}$ bis $>250\text{ }\mu\text{m}$ bzw. im Bereich von $<5\text{ mm}$ bis $>1.000\text{ mm}$.

[0050] Laserparameter können insbesondere derart eingestellt/gewählt werden, dass sich ein Bereich, in dem Plasmaerzeugung stattfinden kann (auch als Zündbereich bezeichnet), beispielsweise über eine Länge im Bereich von ca. 5 mm bis ca. 50 mm, beispielsweise über eine Länge von 10 mm, 20 mm oder 30 mm, entlang der Strahlachse 5A erstreckt.

[0051] Fig. 2 zeigt schematisch eine entlang der Strahlachse 5A langgezogene Fokuszzone 11A, wie sie im Bereich der Oberfläche 7A der Probe 7 ausgebildet wird. Das Plasma 3 bildet sich aufgrund der Wechselwirkung der Laserstrahlung mit dem Material an der Oberfläche der Probe 7A aus. Bei LIBS liegen übliche Ausmaße (gemittelter Durchmesser) eines Plasmas 3 im Bereich von z. B. 0,1 mm bis 5 mm (abhängig von Probenmaterial und Laserparameter).

[0052] Das Spektrometersystem 1 umfasst ferner ein optisches Spektrometer 13 zur Spektralanalyse des Plasmalichts 3A. Das optische Spektrometer 13 ist in Fig. 2 beispielhaft als Gitterspektrometer dargestellt. Allgemein umfasst das Spektrometer 13 mindestens ein dispersives Element 13A, z. B. ein Gitter, ein Prisma oder ein Gitterprisma, und einen pixelbasierten Detektor 13B, auf den das Plasmalicht spektral aufgeweitet auftrifft. Den Pixeln des Detektors 13B sind spektrale Komponenten des zu analysierenden Plasmalichts 3A zugeordnet. Der Detektor 13B gibt Intensitätswerte der bestrahlten Pixel an eine Auswerteeinheit 15, üblicherweise ein Computer mit einem Prozessor und einem Speicher, aus. Die Auswerteeinheit 15 gibt eine gemessene spektrale Verteilung 17 aus und vergleicht diese beispielsweise mit abgelegten Vergleichsspektren, um dem Plasmalicht 3A und damit der untersuchten Probe 3 die zum Plasmalicht 3A beitragenden Elemente zuzuordnen und als Ergebnis der spektralen Untersuchung auszugeben.

[0053] Im Spektrometer 13 ist ein (spektralabhängiger) Strahleingang für das zu analysierende Plasmalicht durch eine Eintrittsapertur 19, üblicherweise ein Eintrittsspalt 19A, festgelegt.

[0054] Das Spektrometersystem 1 umfasst ferner eine Detektionseinheit 21 mit einer Objektivhalterung 23 und mehreren Objektiven 25A, 25B, 25C, die von der Objektivhalterung 23 gehalten werden. Beispielhaft werden in den Figuren drei Objektive gezeigt, zwei in der Bildebene und eines dahinterliegend. Die Anzahl der verwendeten Objektive kann in Abhängigkeit räumlicher und optischer Parameter sowie Parameter des Materials der zu untersuchenden Probe ausgewählt werden; sie liegt z. B. im Bereich von 2 bis 20, beispielsweise bei 4, 5, 8, 9 oder 15 Objektiven.

[0055] Das Spektrometersystem 1, insbesondere die Detektionseinheit 21, umfasst ferner ein optisches Lichtleitsystem 27, das die Objektive 25A, 25B, 25C mit dem Spektrometer 13 optisch verbindet. Das Lichtleitsystem 27 stellt mehrere optische Eingänge 29, die jeweils optisch einem der Objektive 25A, 25B, 25C zugeordnet sind, und einen (den Objektiven gemeinsamen, funktionellen) optischen Ausgang 31, der optisch der Eintrittsapertur 19 zugeordnet ist, bereit.

[0056] Jedes der Objektive 25A, 25B, 25C ist zum Erfassen eines Messanteils 33 des Plasmalichts 3A eingerichtet und umfasst mindestens ein fokussierendes optisches Element, wie z. B. eine Sammellinse oder einen konkaven Spiegel. Jedem der Objektive 25A, 25B, 25C ist ein Detektionskegel 35 zugeordnet. Die Strahlachse 5A verläuft durch die Detektionskegel 35, wobei die Detektionskegel 35 im Bereich des Laserstrahls 5 eine eingestellte Mindestgröße aufweisen. Jeder der Detektionskegel 35 umfasst in einem Überlappungsbereich mit dem Laserstrahl 5 einen Plasmadetektionsbereich 39, der dem entsprechenden Objektiv 25A, 25B, 25C zugeordnet ist. Beispielsweise weisen die Detektionskegel 35 eine Länge von einer Eintrittsapertur eines Objektivs zum Laserstrahl im Bereich von 200 mm bis 400 mm auf. Beispielhaft wird in Fig. 2 das Plasma 3 im Plasmadetektionsbereich 39 des Objektivs 25B erzeugt, sodass der zugehörige Messanteil 33 des Plasmalichts 3A vom Objektiv 25B erfasst und auf den zugeordneten optischen Eingang 29 des Lichtleitsystems 27 abgebildet wird. Von einem oder mehreren Objektiven erfasste Messanteile 33 werden vom optischen Lichtleitsystem 27 zum gemeinsamen optischen Ausgang 31 geleitet und durch die Eintrittsapertur 19 in das optische Spektrometer 13 zur spektralen Analyse eingekoppelt.

[0057] Fig. 2 zeigt beispielhaft drei Objektive 25A, 25B, 25C, die azimuthal verteilt um die Strahlachse 5A angeordnet sind. Die Objektive 25A und 25B liegen auf gegenüberliegenden Seiten der Strahlachse 5A und sind somit von gegenüberliegenden Seiten auf die Strahlachse 5A gerichtet. Das Objektiv 25C ist von hinten auf die Strahlachse 5A gerichtet. Ein weiteres Objektiv (in Fig. 2 nicht gezeigt) kann beispielsweise von vorne auf die Strahlachse 5A gerichtet sein oder mithilfe eines Strahlteilers entlang der Strahlachse 5A auf die Fokuszone 11A gerichtet sein. Zur Verdeutlichung sind in Fig. 2 die Detektionskegel 35 konisch auf die Strahlachse 5A zulaufend gestrichelt angedeutet, wobei die Fokuszone 11A, das Plasma 3 und die Plasmadetektionsbereiche 39 zur Verdeutlichung im Vergleich zu den Detektionskegeln 35 übergroß dargestellt sind.

[0058] Fig. 3 zeigt eine Halterungsplatte 23A der Detektionseinheit 21 des LIBS-Systems zur Verdeutlichung der Anordnung und Ausrichtung der Objektive 25A, 25B, 25C. Zur ortsfesten Montage der Objektive weist die Halterungsplatte 23A Objektivhalterungsöffnungen zur Aufnahme der Objektive 25A, 25B, 25C auf. Die Objektivhalterungsöffnungen sind jeweils in einem radialen Abstand zur Strahlachse 5A angeordnet und für eine schräge Ausrichtung der Objektive 25A, 25B, 25C auf die Strahlachse 5A ausgebildet. Zur Verdeutlichung der schrägen Ausrichtung sind Beobachtungsachsen 35A der Objektive 25A, 25B, 25C dargestellt. Im gezeigten Beispiel verlaufen die Beobachtungsachsen 35A unter einem Beobachtungswinkel α zur Strahlachse 5A.

[0059] Zur Verwirklichung des multifokalen Konzepts sind die Objektive 25A, 25B, 25C derart in der Halterungsplatte 23A befestigt (allgemein in der Halterung 23 angeordnet und ausgerichtet), dass die Plasmadetektionsbereiche 39 entlang der Strahlachse 5A versetzt angeordnet sind. Insbesondere bei vergleichbaren Beobachtungswinkeln α kann der Versatz in Richtung der Strahlachse 5A durch Variation des radialen Abstands der Objektive 25A, 25B, 25C von der Strahlachse 5A (optional mit variierendem Einschub) erreicht werden. Beispielhaft sind unterschiedliche radiale Abstände R1 und R2 für die Objektive 25A und 25B in Fig. 3 angedeutet. Alternativ kann (optional bei einem vergleichbaren radialen Abstand) der Beobachtungswinkel zumindest einiger der Objektive an den gewünschten Versatz der Plasmadetektionsbereiche 39 in Richtung der Strahlachse 5A angepasst werden (siehe z. B. Fig. 6B). Mischformen in der Konfiguration sind ebenfalls möglich.

[0060] Allgemein kann der Beobachtungswinkel α im Bereich von 0° (über Strahlteiler entlang des Laserstrahls) bis 90° (Beobachtung orthogonal zum Laserstrahl) liegen. Die im Rahmen der Offenbarung beispielhaft gezeigten Beobachtungswinkel α liegen im Bereich von 5° bis 15°, beispielsweise im Bereich von 5° bis 10°. Die Beobachtungsachsen 35A benachbarter Objektive 25A, 25B, 25C laufen von verschiedenen azimuthalen Richtungen her auf die Strahlachse 5A zu (azimutaler Winkel in der Ebene senkrecht zur Strahlachse 5A). Im in Fig. 3 gezeigten Fall sind die Beobachtungswinkel α für alle Objektive vergleichbar und weichen nicht mehr als z. B. 5° oder 1° voneinander ab (Abweichung gegeben z. B. durch erlaubte Fertigungstoleranzen der Objektivhalterungsöffnungen und Objektive). Jedoch variieren in der Anordnung der Fig. 3 die radialen Abstände zur Strahlachse 5A. Entsprechend können vergleichbare Spektren von den Plasmadetektionsbereichen 39 der verschiedenen Objektive für eine Probe bei verschiedenen Lagen der Oberfläche der Probe entlang der Strahlachse 5A (entsprechend unterschiedlichen Messkonstellationen im Rahmen eines Messvorgangs) aufgenommen werden, zum Beispiel vom Objektiv 25B bei einem Oberflächenverlauf gemäß der durchgezogenen Linie (Oberfläche 7A der Probe 7 aus Fig. 2) oder vom Objektiv 25A im Fall eines Oberflächenverlaufs gemäß der strichpunktierten Linie 7A' oder vom Objektiv 25C im Fall eines Oberflächenverlaufs gemäß der gestrichelten Linie 7A".

[0061] Wie in Fig. 3 angedeutet bilden die Plasmadetektionsbereiche 39 zusammen einen Sichtbereich 41 der Detektionseinheit 21 aus. Der Sichtbereich 41 erstreckt sich entlang der Strahlachse 5A im Bereich der Fokuszone 11A.

[0062] Jedem der Plasmadetektionsbereiche 39 wird eine Messtiefe entlang der Strahlachse 5A zugeordnet. Die Messtiefe entspricht in Fig. 3 z. B. einem Durchmesser der Kreise, die die Plasmadetektionsbereiche 39 verdeutlichen. Für ein Objektiv ist die Messtiefe ein spezifisches Merkmal, das gegeben ist durch optische Parameter wie Fokuslänge und Apertur des Objektivs sowie durch die Anordnung und Ausrichtung des Objektivs (z. B. geometrische Lageparameter des Objektivs bezüglich der Strahlachse 5A - Abstand und Winkel). Beispielsweise können sich die Plasmadetektionsbereiche 39 entlang der Strahlachse 5A jeweils über eine Messtiefe von ca. 5 mm bis ca. 15 mm, insbesondere über eine Messtiefe von ca. 5 mm bis ca. 12 mm. In einigen Ausführungsformen können sich die Plasmadetektionsbereiche 39

entlang der Strahlachse 5A über $1/10$ bis $1/4$ des Sichtbereichs 41 erstrecken. In Fig. 3 sind die beim multifokalen Konzept versetzt angeordneten Plasmadetektionsbereiche 39 entlang der Strahlachse 5A beispielhaft in einem Abstand D in der Größenordnung der Messtiefe (hier ca. dem Doppelten des Durchmessers der Plasmadetektionsbereiche 39) beabstandet angeordnet. Alternativ können die Plasmadetektionsbereiche 39 aneinander angrenzen oder sich teilweise (beispielsweise im Bereich von 10 % der Messtiefe) überlappen. Auf diese Weise können die Objektive Plasmalicht aus unterschiedlichen Abschnitten des Sichtbereichs 41 entlang der Strahlachse 5A detektieren.

[0063] Ferner erkennt man in Fig. 3 ein optionales Schutzfenster 43A, das im Bereich einer optischen Durchgangsöffnung 43 in der Halterungsplatte 23A vorgesehen werden kann, um den Laserstrahl durch die Halterung 23 und an den Objektiven 25A, 25B, 25C vorbei auf die Probe 7 richten zu können.

[0064] Fig. 4 zeigt eine perspektivische Ansicht eines beispielhaften LIBS-Messkopfs 51, der über eine Lichtleitfaser 9A mit einer Laserstrahlquelle verbunden ist. Die Halterung 23 des LIBS-Messkopfs 51 umfasst eine Längsträgerplatte 23B, an der eingangsseitig eine Befestigung für die Lichtleitfaser 9A und die Fokussieroptik 11 (Laserkopf mit Strahlformung) vorgesehen ist. An der Längsträgerplatte 23B ist ferner das optische Spektrometer 13 befestigt sowie die Halterungsplatte 23A für die vier Objektive 25A, 25B, 25C, 25D (allgemein eine $n > 1$ -fache Eintrittsoptik) vorgesehen. Die Objektive 25A, 25B, 25C, 25D sind dazu eingerichtet, von Plasmadetektionsbereichen 39, die entlang der Strahlachse 5A versetzt zueinander angeordnet sind, Messanteile von Plasmalicht zu erfassen und über das Lichtleitsystem 27 (beispielsweise ein Faserbündel mit $n > 1$ Eingängen und einem funktionellen Ausgang - "n-auf-1-Faserbündel") dem Spektrometer 13 zur spektralen Analyse zuzuführen. Beispielhaft sind in Fig. 4 zwei Lichtleitfasern 45 des Lichtleitsystems 27 dargestellt, die die Objektive 25B und 25C mit dem gemeinsamen Spektrometer 13 optisch verbinden. Mit dem Lichtleitsystem 27 können die Messanteile im Spektrometer 13 (oder optional vor Einkopplung in das Spektrometer 13) für einen Messvorgang kombiniert werden.

[0065] Die n-fache Betrachtung des Sichtbereichs mit mehreren (in Fig. 4 vier) Objektiven erlaubt eine deutliche Vergrößerung der Tiefenschärfe, gegeben durch die Aneinanderreihung der Plasmadetektionsbereiche der Objektive. Dadurch wird es möglich, auch in der Oberfläche strukturierte, ungleichmäßige Proben effizient zu analysieren. Ferner findet eine Betrachtung der Probe aus unterschiedlichen Winkeln statt, wodurch Abschattungseffekte reduziert werden können. Die erfassten Messanteile werden an einem gemeinsamen Ausgang des Lichtleitsystems zusammengeführt (Summe aller Beobachtungen) und einer gemeinsamen spektralen Analyse zugeführt.

[0066] Ein n-auf-1-Faserbündel erlaubt eine Einspeisung mehrerer Objektive in ein Spektrometer, wobei mehrere n-auf-1-Bündel für die Einspeisung in mehrere Spektrometer verwendet werden können.

[0067] Die beispielhafte Ausgestaltung in der in Fig. 3 gezeigten Detektionseinheit 21 wird anhand der Figuren 4A und 4B weiter verdeutlicht. Fig. 5A zeigt eine Aufsicht auf die Halterungsplatte 23A. Die optische Durchgangsöffnung 43 im Zentrum ermöglicht den Durchtritt des Laserstrahls (Laserstrahlachse 5A). Vier Objektivhalterungsöffnungen 53A, 53B, 53C, 53D sind azimuthal um die Durchgangsöffnung 43 mit variierenden radialen Abständen zur Strahlachse 5A angeordnet. Sie sind azimuthal gleich verteilt, sodass sich je zwei Objektivhalterungsöffnungen paarweise gegenüberliegen. In der perspektivischen Ansicht der Fig. 5B sind vier identische Objektive 25A, 25B, 25C, 25D in die Objektivhalterungsöffnungen 53A, 53B, 53C, 53D eingesetzt. Die Objektive 25A, 25B, 25C, 25D wurden unterschiedlich weit in die Objektivhalterungsöffnungen 53A, 53B, 53C, 53D eingeführt, sodass je nach radialem Abstand die zugehörigen Plasmadetektionsbereiche 39 nebeneinander in Richtung der Strahlachse angeordnet sind und so den die Tiefenschärfe bewirkenden Sichtbereich 41 der Detektionseinheit 21 ausbilden.

[0068] Eine alternative Ausgestaltung wird in den Figuren 6A und 6B verdeutlicht. In der Aufsicht auf die Halterungsplatte 23A erkennt man vier Objektivhalterungsöffnungen 55A, 55B, 55C, 55D, die symmetrisch im gleichen radialen Abstand zur Durchgangsöffnung 43 und um diese beispielhaft gleich verteilt angeordnet sind. Wie in der perspektivischen Ansicht der Fig. 6B angedeutet ist, wird der Versatz der Plasmadetektionsbereiche 39 in Richtung der Strahlachse 5A durch unterschiedliche Beobachtungswinkel der eingesetzten Objektive 25A, 25B, 25C, 25D bewirkt. Beispielsweise können die Beobachtungswinkel bei einem radialen Abstand von 30 mm im Bereich von 3° bis 15° liegen, sodass sich der Sichtbereich 41 in einem Abstand von ca. 100 mm von der Halterungsplatte 23A ausbildet. Bei unterschiedlichen Beobachtungswinkel (und optional Betrachtungshöhen) können bei einem großvolumigen Plasma die detektierten spektralen Verteilungen variieren. Insbesondere jedoch bei einem kleinvolumigen Plasma, wie es meist für die LIBS erzeugt wird, sind diese Unterschiede in der spektralen Verteilung vernachlässigbar, da im Wesentlichen das gesamte Plasma in einem Plasmadetektionsbereich 39 liegt.

[0069] Fig. 7 zeigt noch einmal eine Detailansicht des erfindungsgemäßen Systems 100 gemäß Fig. 1. Zu erkennen ist hier, dass in ihrer Zusammensetzung unterschiedliche Materialteile vorgesehen sind, und zwar Materialteile 120B aus Kunststoff und Materialteile 120A aus Aluminium. In schon vorbeschriebener Weise kann mittels des erfindungsgemäßen Spektrometersystems 1 eine Aussortierung dahingehend stattfinden, dass die Materialteile 120A von den Materialteilen 120B getrennt werden. Zu diesem Zweck erfolgt mittels der Sortiereinheit 160 im Falle der Erkennung eines Materialteils 120B aus Kunststoff ein Ausschleusen desselben. Die Sortiereinheit 160 verfügt zu diesem Zweck über eine Luftdruckdüse, mittels der ein Kunststoffteil 120B aus dem Strom an Materialteilen ausgeschleust werden kann. Infolge einer solchen Sortierung sammeln sich an den Sammelstellen 170 voneinander getrennt Materialteile 120B aus Kunststoff

einerseits und Materialteile 120A aus Aluminium andererseits an.

Bezugszeichen

5	1	Spektrometersystem	35	Detektionskegel
	3	Plasma	35A	Beobachtungsachsen
	3A	Plasmalicht	37	Überlappungsbereich
	5	Laserstrahl	39	Plasmadetektionsbereich
	5A	Strahlachse	41	Sichtbereich
10	7	Probe	43	optische Durchgangsöffnung
	7A	Oberfläche	43A	Schutzfenster
	7A'	strichpunktierte Linie	45	Lichtleitfaser
	7A"	gestrichelte Linie	51	LIBS-Messkopfs
15	9	Laserstrahlquelle	53A	Objektivhalterungsöffnung
	9A	Lichtleitfaser	53B	Objektivhalterungsöffnung
	11	Fokussieroptik	53C	Objektivhalterungsöffnung
	11A	Fokuszone	53D	Objektivhalterungsöffnung
	13	optisches Spektrometer	55A	Objektivhalterungsöffnung
20	13A	dispersives Element	55B	Objektivhalterungsöffnung
	13B	Detektor	55C	Objektivhalterungsöffnung
	15	Auswerteeinheit	55D	Objektivhalterungsöffnung
	17	spektrale Verteilung	57A	Objektivhalterungsöffnung
	19	Eintrittsapertur	57B	Objektivhalterungsöffnung
25	19A	Eintrittsspalt	57C	Objektivhalterungsöffnung
	21	Detektionseinheit	57D	Objektivhalterungsöffnung
	23	Objektivhalterung	D	Abstand
	23A	Halterungsplatte	R1, R2	radiale Abstände
30	23B	Längsträgerplatte	α	Beobachtungswinkel
	25A	Objektiv	100	System
	25B	Objektiv	110	Zuführmittel
	25C	Objektiv	111	Zuführfläche
	25D	Objektiv	120	Materialteil
35	27	Lichtleitsystem	120A	Aluminiumteil
	29	optischer Eingang	120B	Kunststoffteil
	31	optischer Ausgang	130	Rutsche
	33	Messanteil	131	oberer Abschnitt
40	132	untere Randkante		
	140	Laservorrichtung		
	150	Steuervorrichtung		
	160	Sortiereinheit		
	170	Sammelstelle		
45	180	LIBS-Modul		

Patentansprüche

- 50
1. System zum Analysieren und Sortieren eines Materialteils, insbesondere eines Schrottteils aus Aluminium, umfassend:
 - Ein Zuführmittel (110) zum Transportieren des Materialteils (120)
 - 55 - eine Sortiereinheit (160), die dazu eingerichtet ist, das Materialteil (120) einer von zwei Fraktionen (F1, F2) zuzuführen,
 - eine Lasereinrichtung (140), die dazu eingerichtet ist, mit einem sich entlang einer Strahlachse (5A) ausbreitenden Laserstrahl (5) auf einer Oberfläche 7A des Materialteils (120) ein Plasma (3) zu erzeugen,

- ein Spektrometersystem (1), das dazu eingerichtet ist, eine Spektralanalyse eines von dem laserinduzierten Plasma (3) emittierten Plasmalichts (3A) durchzuführen und in Entsprechung eines Ergebnisses der durchgeführten Spektralanalyse ein Ausgangssignal zu erzeugen, und
 - eine Steuervorrichtung (150), die dazu eingerichtet ist, das Ausgangssignal zu empfangen und die Sortiereinheit (160) basierend auf dem Ausgangssignal und einem Sortierkriterium zu betreiben,
 - wobei das Spektrometersystem (1) ein Spektrometer (13) und eine mit dem Spektrometer (13) optisch verbundene Detektionseinheit (21) aufweist,
 - wobei die Detektionseinheit (21) ein Objektiv (25A, 25B, 25C, 25D) aufweist, dem ein Detektionskegel (35) zugeordnet ist, der in einem Überlappungsbereich (37) mit dem Laserstrahl (5) einen Plasmadetektionsbereich (39) ausbildet,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Detektionseinheit (21) ein weiteres Objektiv (25A, 25B, 25C, 25D) aufweist, dem ein weiterer Detektionskegel (35) zugeordnet ist, der in einem weiteren Überlappungsbereich (37) mit dem Laserstrahl (5) einen weiteren Plasmadetektionsbereich (39) ausbildet, wobei die Objektive (25A, 25B, 25C, 25D) in Relation zueinander derart angeordnet und/oder ausgerichtet sind, dass der Plasmadetektionsbereich (39) und der weitere Plasmadetektionsbereich (39) entlang der Strahlachse (5A) des Laserstrahls (5) versetzt angeordnet sind und zusammen einen Sichtbereich (41) der Detektionseinheit (21) ausbilden.

2. System nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Plasmadetektionsbereich (39) dazu eingerichtet ist, dass im Falle eines im Plasmadetektionsbereich (39) vorliegenden Plasmas (3) ein Messanteil (33) des Plasmalichts (3A) von dem zugehörigen Objektiv (25A, 25B, 25C, 25D) erfasst wird.
3. System nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Detektionseinheit (21) eine Objektivhalterung (23) aufweist, die eine Mehrzahl von Objektiven (25A, 25B, 25C, 25D) gemeinschaftlich trägt.
4. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Plasmadetektionsbereiche (39) entlang der Strahlachse (5A) ineinander übergehenden oder voneinander beabstandet angeordnet sind.
5. System nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Objektivhalterung (23) eine optische Durchgangsöffnung (43) bereitstellt, durch die hindurch die Strahlachse (5A) verläuft.
6. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Objektivhalterung (23) eine Halterungsplatte (23A) aufweist, die mehrere Objektivhalterungsöffnungen zur jeweiligen Aufnahme eines Objektivs (25A, 25B, 25C, 25D) und die optische Durchgangsöffnung (43) für den Laserstrahl (5) bereitstellt, wobei die Objektivhalterungsöffnungen um die Durchgangsöffnung (43) herum verteilt angeordnet sind.
7. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich ein Detektionskegel (35) entlang einer Beobachtungsachse (35A) erstreckt, die unter einem Beobachtungswinkel α verläuft, wobei der Beobachtungswinkel α zwischen 0° und 90° , vorzugsweise zwischen 3° und 60° , noch mehr bevorzugt zwischen 5° und 25° beträgt.
8. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Spektrometersystem (1) ein Lichtleitsystem (27) aufweist, das die Detektionseinheit (21) mit dem Spektrometer (13) optisch verbindet.
9. System nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Lichtleitsystem (27) eine der Anzahl der Objektive (25A, 25B, 25C, 25D) entsprechende Anzahl an optischen Eingängen (29) und einen optischen Ausgang (31) bereitstellt, wobei die optischen Eingänge (29) jeweils zur Aufnahme des mit dem zugehörigen Objektiv (25A, 25B, 25C, 25D) erfassten Messanteils (33) ausgebildet sind und wobei der optische Ausgang (31) zur Abgabe der mit den Objektiven (25A, 25B, 25C, 25D) erfassten Messanteile (33) ausgebildet ist.
10. System nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Lichtleitsystem (27) mehrere Lichtleitfasern (45) aufweist, die jeweils einen optischen Eingang (29) bereitstellen und die zu einem gemeinsamen optischen Ausgang (31) zusammengefasst sind.
11. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lasereinrichtung (160), das Spektrometersystem (1) und die Steuervorrichtung (150) in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht sind und ein LIBS-Modul ausbilden.

12. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Zuführmittel (110) dazu eingerichtet ist, das Materialteil (120) entlang einer Zuführfläche (111) hin zu einem oberen Abschnitt (131) einer Rutsche zu transportieren.

13. System nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sortiereinheit (160) einer dem oberen Abschnitt (131) der Rutsche (130) gegenüberliegenden unteren Randkante (132) der Rutsche (130) zugeordnet ist, wobei die Sortiereinheit (160) dazu eingerichtet ist, das die Rutsche (130) über die untere Randkante (132) der Rutsche (130) verlassende Materialteil (120) einer von zwei Fraktionen (F1, F2) zuzuführen.

Claims

1. System for analyzing and sorting a piece of material, in particular an aluminum scrap part, the system comprising:

- a feeder (110) for transporting the piece of material (120);
- a sorting unit (160) configured to feed the piece of material (120) to one of two fractions (F1, F2),
- a laser device (140) configured to generate a plasma (3) on a surface 7A of the piece of material (120) by means of a laser beam (5) propagating along a beam axis (5A),
- a spectrometer system (1) configured to carry out a spectral analysis of the plasma light (3A) emitted from the laser-induced plasma (3) and to generate an output signal corresponding to the result of the spectral analysis that has been carried out, and
- a control device (150) configured to receive the output signal and to operate the sorting unit (160) based on the output signal and on a sorting criterion,
- wherein the spectrometer system (1) comprises a spectrometer (13) and a detecting unit (21) optically coupled with the spectrometer (13),
- wherein the detection unit (21) has an objective (25A, 25B, 25C, 25D) to which a detection cone (35) is assigned, which detection cone creates a plasma detection region (39) in an overlapping region (37) with the laser beam (5), **characterized in that** the detection unit (21) comprises a further objective (25A, 25B, 25C, 25D) to which a further detection cone (35) is assigned, which detection cone forms a further plasma detection region (39) in a further overlapping region (37) with the laser beam (5), wherein the objectives (25A, 25B, 25C, 25D) are arranged in relation to one another and/or aligned in such a way that the plasma detection region (39) and the further plasma detection region (39) are offset from each other along the beam axis (5A) of the laser beam (5) and together form a field of vision of the detection unit (21).

2. System according to claim 1, **characterized in that** a plasma detection region (39) is configured in such a way that in the case of a plasma (3) present in the plasma detection region (39) a measuring share (33) of the plasma light (3A) is detected by the associated objective (25A, 25B, 25C, 25D).

3. System according to claim 1 or 2, **characterized in that** the detection unit (21) has an objective holder (23) which carries a plurality of objectives (25A, 25B, 25C, 25D) jointly.

4. System according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the plasma detection regions (39) pass into each other or a spaced from each other along the beam axis (5A).

5. System according to claim 3 or 4, **characterized in that** the objective holder (23) provides an optical passage opening (43) through which the beam axis (5A) extends.

6. System according to any one of the preceding claims 3 to 5, **characterized in that** the objective holder (23) comprises a holder plate (23A) which has several objective holder openings for respectively receiving an objective (25A, 25B, 25C, 25D) and which provides the optical passage opening (43) for the laser beam (5), the objective holder openings being distributed around the passage opening (43).

7. System according to any one of the preceding claims, **characterized in that** a detection cone (35) extends along a monitoring axis (35A) which extends at a monitoring angle α , wherein the monitoring angle α is between 0° and 90° , preferably between 3° and 60° , even more preferably between 5° and 25° .

8. System according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the spectrometer system (1) comprises a

fiber optic system (27), which optically connects the detection unit (21) to the spectrometer (13).

9. System according to claim 8, **characterized in that** the fiber optic system (27) provides a number of optical inputs (29) corresponding to the number of objectives (25A, 25B, 25C, 25D) and an optical output (31), wherein the optical inputs (29) are each designed for receiving the measuring share (33) detected by the associated objective (25A, 25B, 25C, 25D) and wherein the optical output (31) is designed for outputting the measuring shares (33) detected by the objectives (25A, 25B, 25C, 25D).
10. System according to claim 9, **characterized in that** the optical fiber system (27) comprises several optical fibers (45) which each provide an optical input (29) and which are combined into a common optical output (31).
11. System according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the laser device (160), the spectrometer system (160), and the control device (150) are accommodated in a common housing and form a LIBS module.
12. System according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the feeder (110) is configured to transport the piece of material (120) along a feeding surface (111) toward an upper section (131) of chute.
13. System according to claim 12, characterized that the sorting unit (160) is assigned to a lower edge (132) of the chute (130) opposite the upper section (131) of the chute (130), wherein the sorting unit (160) is configured to feed the piece of material (120) leaving the chute (130) via the lower edge (132) of the chute (130) to one of two fractions (F1, F2).

Revendications

1. Système pour analyser et trier une pièce de matériau, en particulier une pièce de ferraille d'aluminium, le système comprenant :

- un dispositif d'alimentation (110) pour transporter la pièce de matériau (120),
- une unité de tri (160) configurée pour acheminer la pièce de matériau (120) vers l'une de deux fractions (F1, F2),
- un dispositif laser (140) configuré pour générer un plasma (3) sur une surface 7A de la pièce de matériau (120) au moyen d'un faisceau laser (5) se propageant le long d'un axe de faisceau (5A),
- un système spectrométrique (1) configuré pour effectuer une analyse spectrale de la lumière plasma (3A) émise par le plasma induit par le laser (3) et pour générer un signal de sortie correspondant au résultat de l'analyse spectrale qui a été effectuée, et
- un dispositif de commande (150) configuré pour recevoir le signal de sortie et pour actionner l'unité de tri (160) sur la base du signal de sortie et d'un critère de tri,
- dans lequel le système spectrométrique (1) comprend un spectromètre (13) et une unité de détection (21) couplée optiquement au spectromètre (13),
- dans lequel l'unité de détection (21) comporte un objectif (25A, 25B, 25C, 25D) auquel est associé un cône de détection (35), lequel cône de détection crée une zone de détection de plasma (39) dans une zone de chevauchement (37) avec le faisceau laser (5),

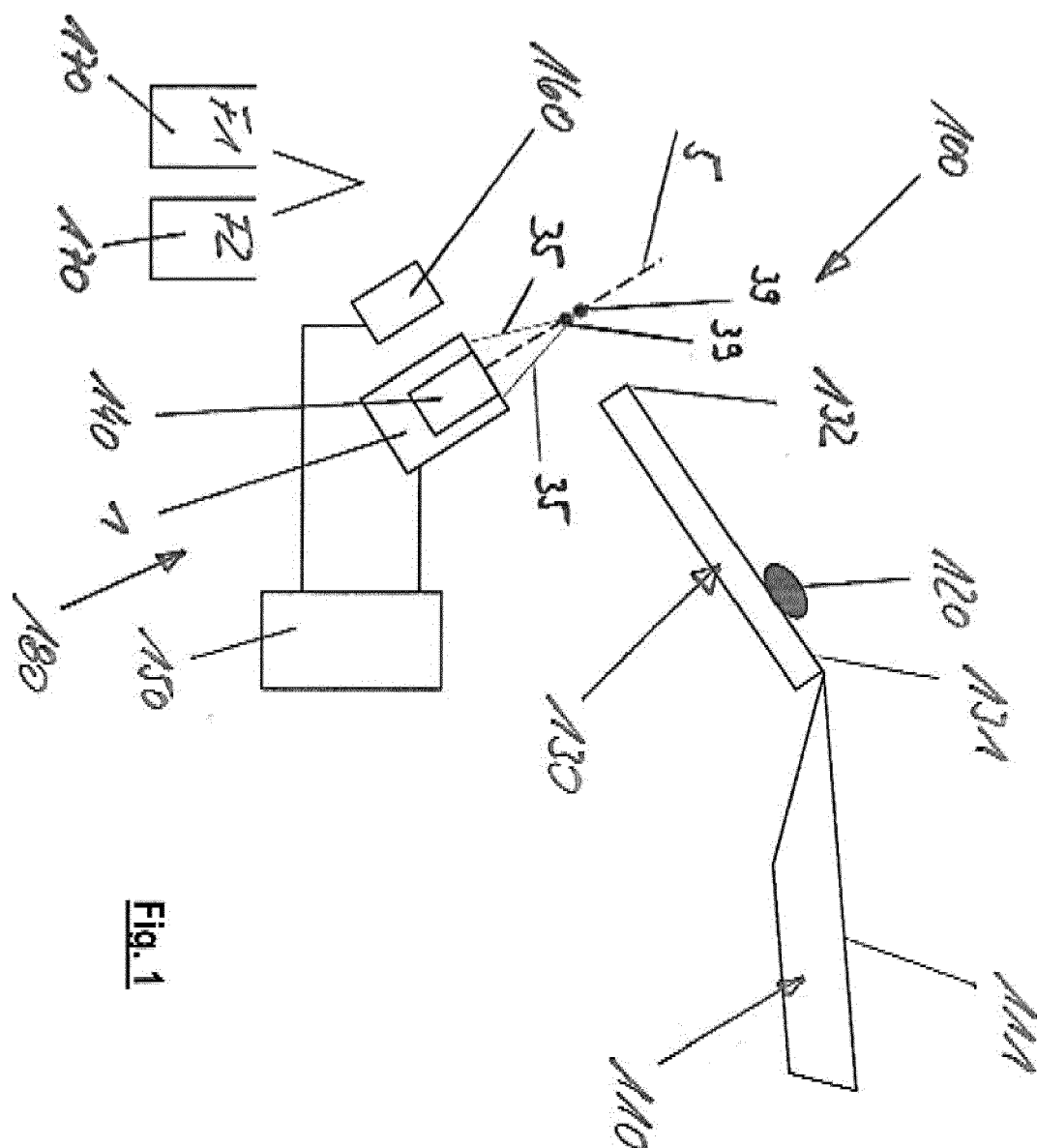
caractérisé en ce que

l'unité de détection (21) comprend un autre objectif (25A, 25B, 25C, 25D) auquel est associé un autre cône de détection (35) qui forme une autre zone de détection de plasma (39) dans une autre zone de chevauchement (37) avec le faisceau laser (5), les objectifs (25A, 25B, 25C, 25D) sont disposés les uns par rapport aux autres et/ou alignés de telle manière que la zone de détection de plasma (39) et l'autre zone de détection de plasma (39) sont décalées l'une par rapport à l'autre le long de l'axe (5A) du faisceau laser (5) et forment ensemble un champ de vision de l'unité de détection (21).

2. Système selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'**une zone de détection de plasma (39) est configurée de telle manière qu'en cas de présence d'un plasma (3) dans la zone de détection de plasma (39), une partie de mesure (33) de la lumière du plasma (3A) est détectée par l'objectif associé (25A, 25B, 25C, 25D).
3. Système selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** l'unité de détection (21) comporte un support d'objectifs (23) qui porte conjointement plusieurs objectifs (25A, 25B, 25C, 25D).
4. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les zones de détection de

plasma (39) se rejoignent ou sont espacées les unes des autres le long de l'axe du faisceau (5A).

5. Système selon la revendication 3 ou 4, **caractérisé en ce que** le support d'objectifs (23) présente une ouverture de passage optique (43) à travers laquelle s'étend l'axe du faisceau (5A).
6. Système selon l'une quelconque des revendications 3 à 5 précédentes, **caractérisé en ce que** le support d'objectif (23) comprend une plaque de support (23A) qui présente plusieurs ouvertures de support d'objectif destinées à recevoir respectivement un objectif (25A, 25B, 25C, 25D) et qui présente l'ouverture de passage optique (43) pour le faisceau laser (5), les ouvertures de support d'objectif étant réparties autour de l'ouverture de passage (43).
7. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'un** cône de détection (35) s'étend le long d'un axe de surveillance (35A) qui s'étend selon un angle de surveillance α , l'angle de surveillance α étant compris entre 0° et 90°, de préférence entre 3° et 60°, et plus préférentiellement encore entre 5° et 25°.
8. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le système spectrométrique (1) comprend un système à fibre optique (27) qui relie optiquement l'unité de détection (21) au spectromètre (13).
9. Système selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** le système à fibre optique (27) fournit un nombre d'entrées optiques (29) correspondant au nombre d'objectifs (25A, 25B, 25C, 25D) et une sortie optique (31), les entrées optiques (29) étant chacune conçues pour recevoir la partie de mesure (33) détectée par l'objectif associé (25A, 25B, 25C, 25D) et la sortie optique (31) étant conçue pour délivrer les parties de mesure (33) détectées par les objectifs (25A, 25B, 25C, 25D).
10. Système selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** le système à fibres optiques (27) comprend plusieurs fibres optiques (45) qui fournissent chacune une entrée optique (29) et qui sont combinées en une sortie optique commune (31).
11. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le dispositif laser (160), le système spectrométrique (160) et le dispositif de commande (150) sont logés dans un boîtier commun et forment un module LIBS.
12. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le dispositif d'alimentation (110) est configuré pour transporter la pièce de matériau (120) le long d'une surface d'alimentation (111) vers une section supérieure (131) de la goulotte.
13. Système selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** l'unité de tri (160) est affectée à un bord inférieur (132) de la goulotte (130) opposé à la section supérieure (131) de la goulotte (130), dans lequel l'unité de tri (160) est configurée pour acheminer la pièce de matériau (120) quittant la goulotte (130) via le bord inférieur (132) de la goulotte (130) vers l'une de deux fractions (F1, F2).



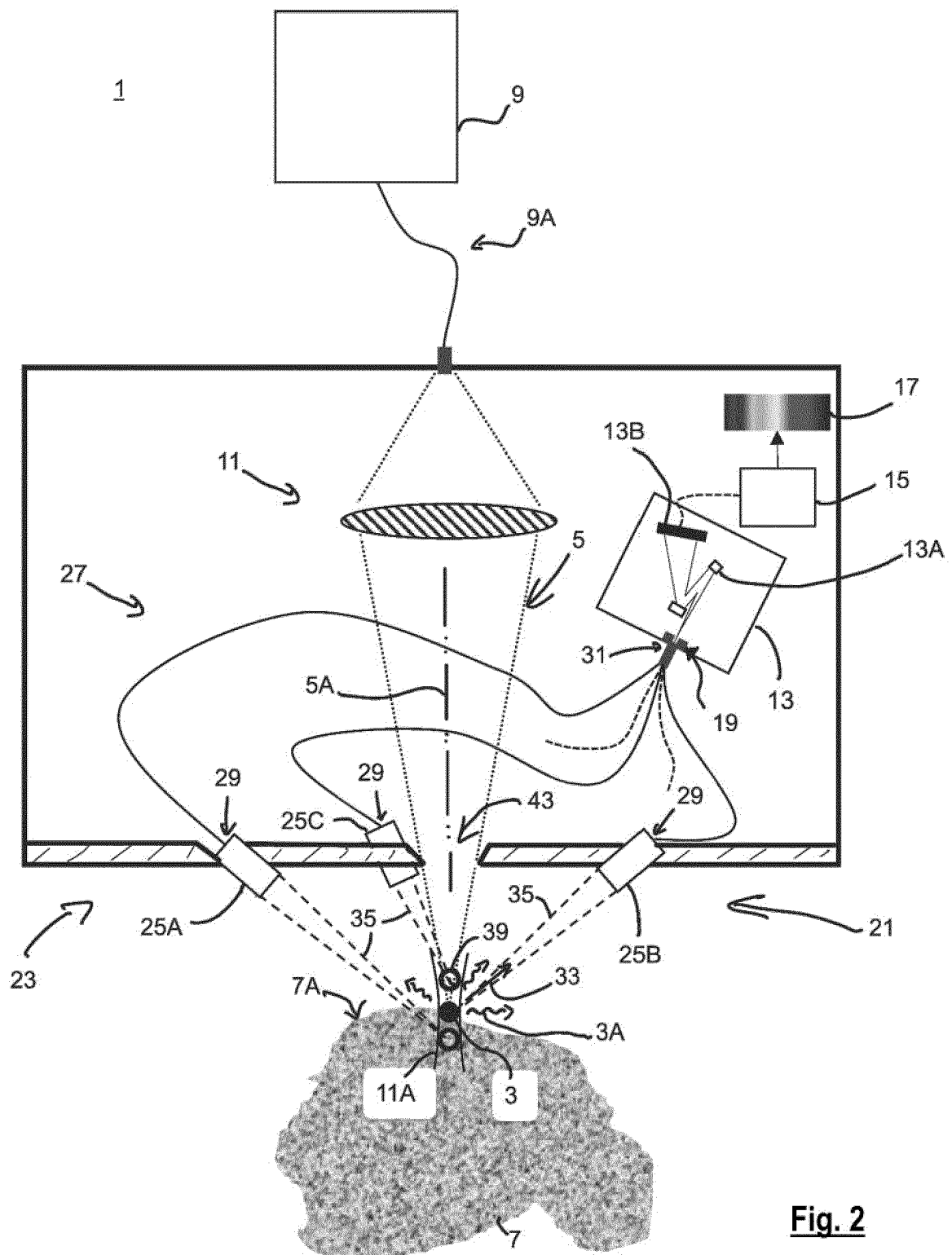
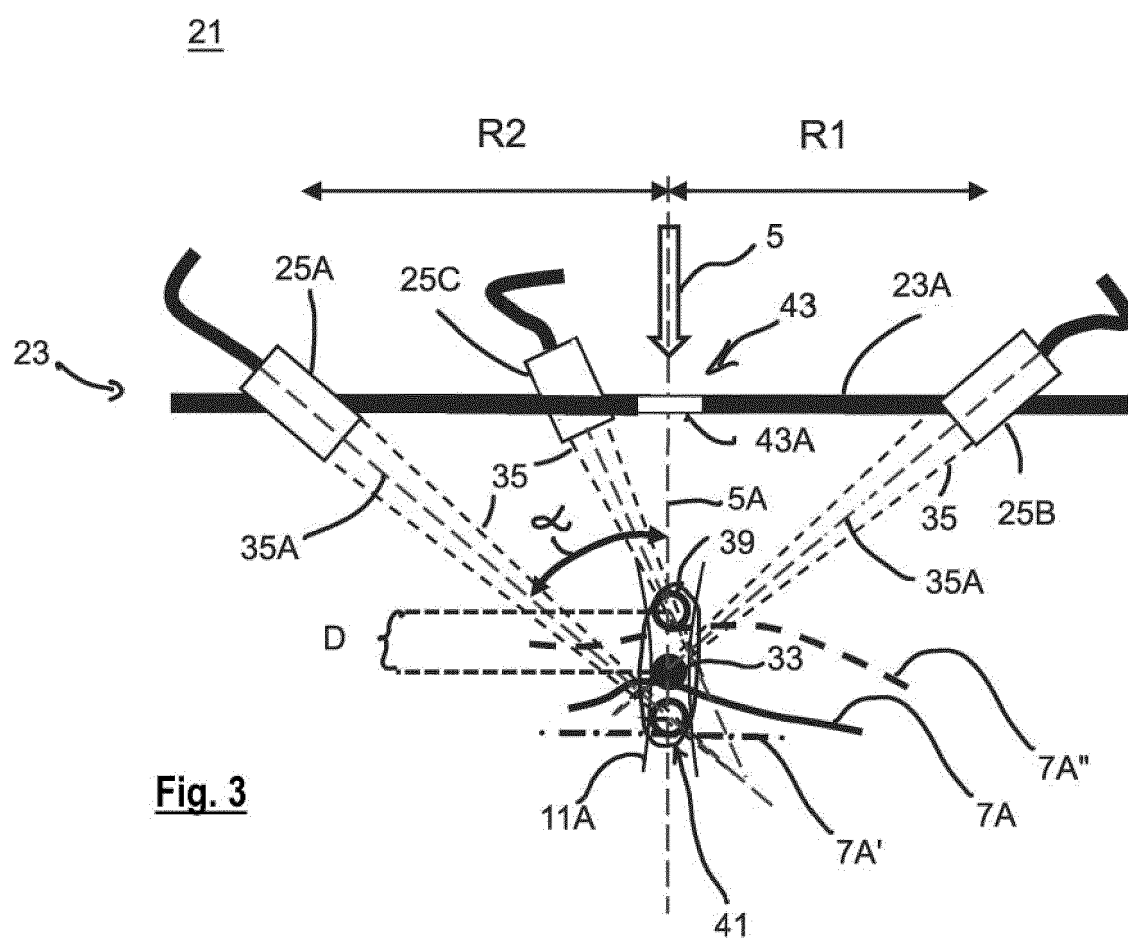


Fig. 2



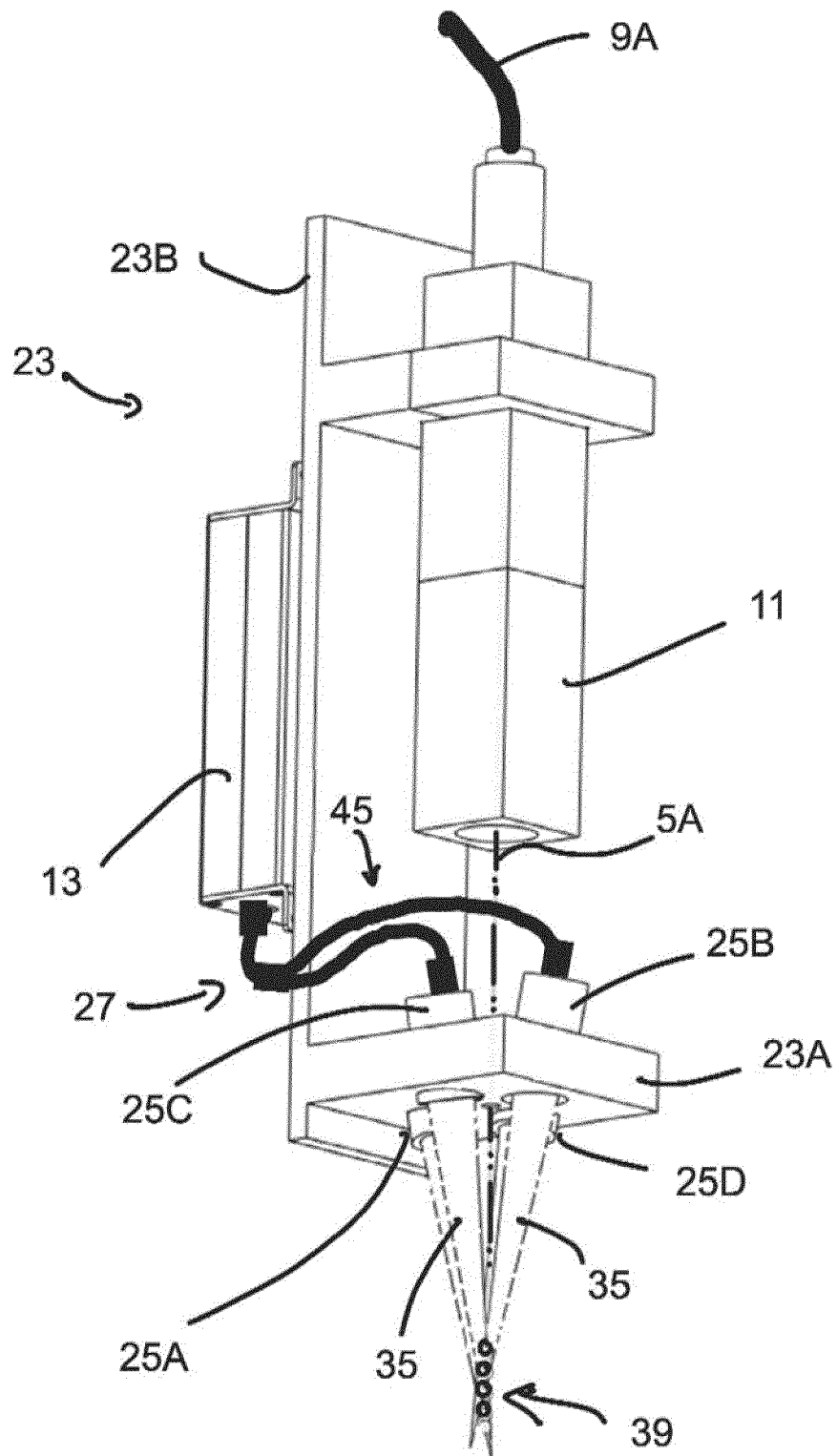


Fig. 4

Fig. 5A

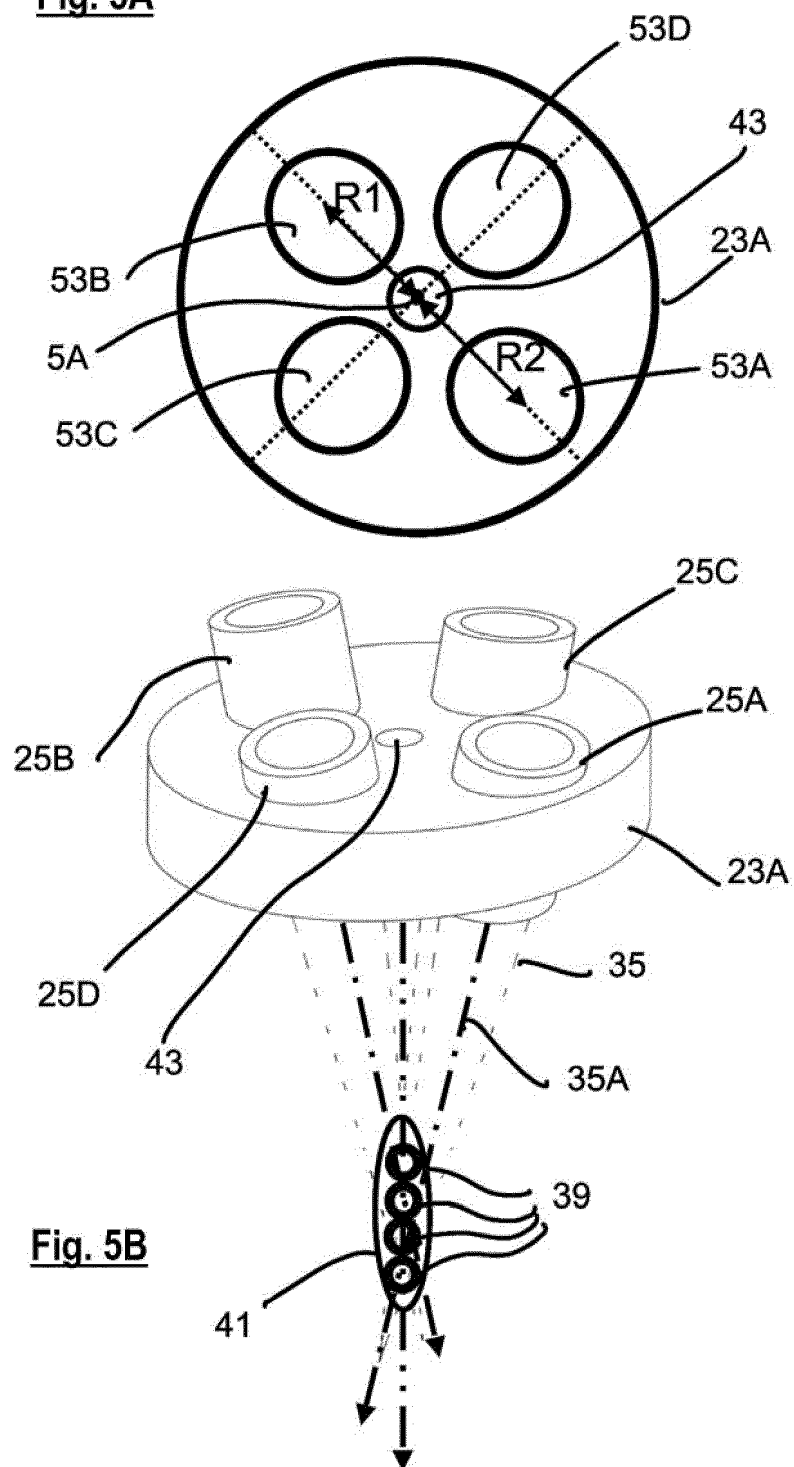


Fig. 6A

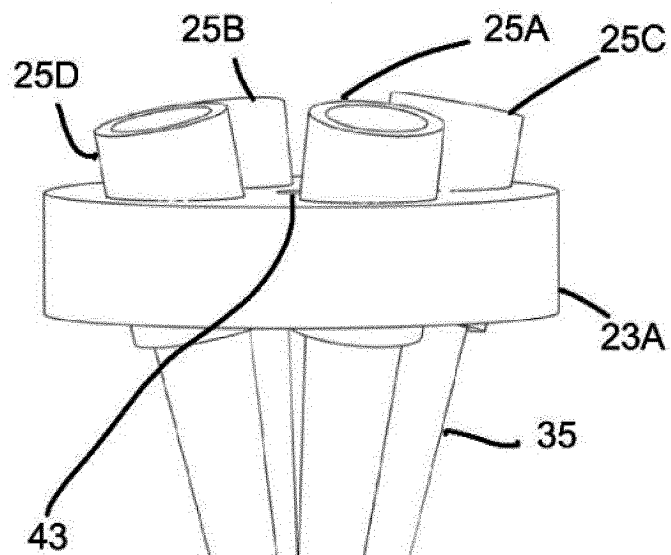
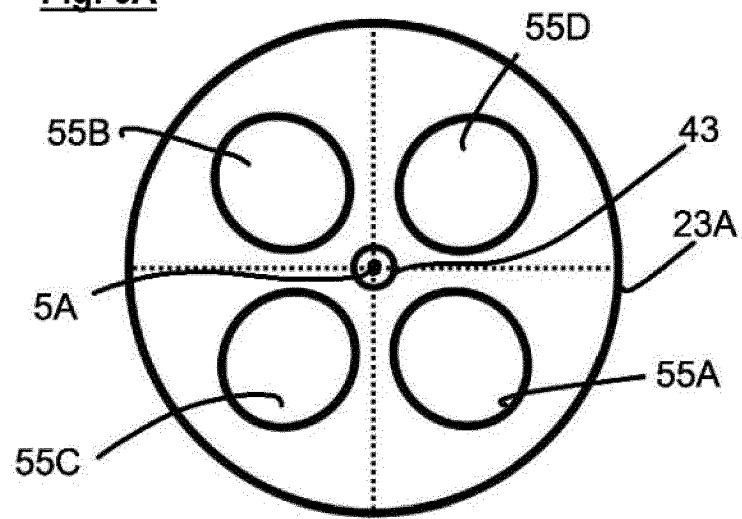


Fig. 6B

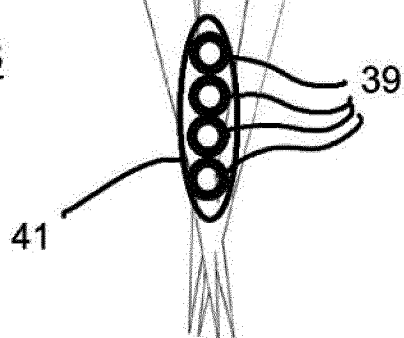
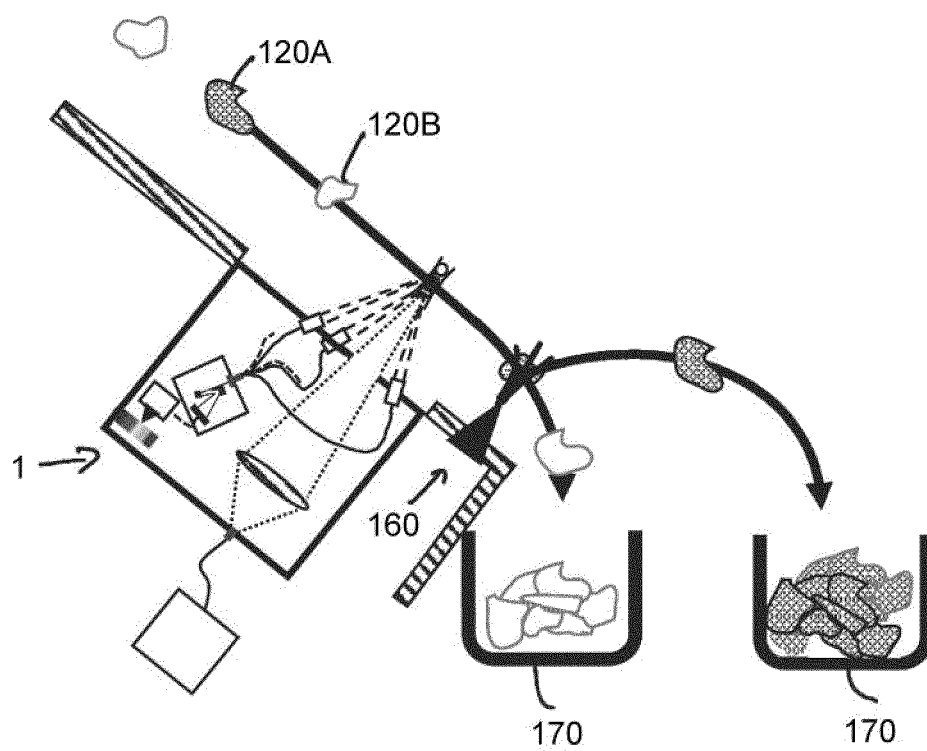


Fig. 7



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 3352919 B1 [0002] [0004]
- US 10088425 B2 [0010]