

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50426/2018
(22) Anmeldetag: 24.05.2018
(45) Veröffentlicht am: 15.06.2021

(51) Int. Cl.: **G01N 21/896** (2006.01)
G01N 21/88 (2006.01)
G01N 21/95 (2006.01)
G01N 21/17 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 102015223853 A1
JP 2018013457 A
US 2012044344 A1
JP 2014163694 A
JP 2015175815 A
US 2016040985 A1
JP 2017166903 A

(73) Patentinhaber:
EYYES GmbH
3494 Gedersdorf (AT)

(74) Vertreter:
BURGSTALLER Peter Dr.
4020 Linz (AT)

(54) **Verfahren zur Detektion von Diskontinuitäten in einem lichtdurchlässigen Werkstück**

(57) Verfahren zu einer zerstörungsfreien Detektion von geometrischen Diskontinuitäten in einem lichtdurchlässigen Werkstück, wobei von zumindest einer Lichtquelle emittierte Lichtstrahlen auf das Werkstück gerichtet werden, sodass eine erste Teilmenge der Lichtstrahlen unter einem ersten Reflexionswinkel an der Werkstückoberfläche reflektiert wird und eine zweite Teilmenge der Lichtstrahlen unter einem ersten Brechungswinkel durch das Werkstück transmittiert wird, wobei gegebenenfalls eine dritte Teilmenge an Lichtstrahlen durch die Diskontinuitäten unter einem zweiten Reflexionswinkel an der Diskontinuitätenoberfläche der Diskontinuität reflektiert wird und eine vierte Teilmenge an Lichtstrahlen durch die Diskontinuitäten unter einem zweiten Brechungswinkel transmittiert wird, wobei monochromatische Lichtstrahlen als transmittierte Lichtstrahlen mittels einer optischen Kamera aufgenommen werden und wobei die Lichtstrahlen unter Verwendung eines Streulichtringes von der Lichtquelle abgegeben werden.



Figur 1

Beschreibung

[0001] Die hier offenbarte Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß Oberbegriff des Anspruches 1.

[0002] Ein Werkstück hat definitionsgemäß lichtdurchlässige Werkstückeigenschaften, wenn zumindest eine Teilmenge von Lichtwellen mit einer Lichtwelle von 300nm bis 900nm durch einer auf die Oberfläche des Werkstücks abgegebenen Lichtmenge durch das Werkstück transmittiert wird.

[0003] Eine geometrische Diskontinuität in einem lichtdurchlässigen Werkstück kann beispielsweise ein Kratzer in einer Abdeckung eines Scheinwerfers oder eine Beschädigung der Glasfläche eines Photovoltaikelementes sein. Eine geometrische Diskontinuität kann weiters eine Teilfläche sein, welche Teilfläche durch ihre Teiloberflächenausbildung wie beispielsweise unebene Teiloberflächenausbildung von der übrigen Oberfläche unterscheidet.

[0004] Die oben beschriebenen Effekte sind nach dem Stand der Technik bekannt und durch die gängige Lehre belegt. Die Teilmengen der Lichtstrahlen können über die Erstreckung des zu untersuchenden Körpers aufgrund der unterschiedlichen optischen Eigenschaften variieren und so unterschiedlich helle Teilbereiche am zu untersuchenden Werkstück hervorrufen, sodass geometrische Diskontinuitäten über diese unterschiedlich hellen Teilbereiche an der Werkstückoberfläche und/oder im Werkstückkörper detektiert werden können.

[0005] In US5237404 wird vorgeschlagen, ein Reflexionsmuster eines Teilbereiches eines Körpers mit einem weiteren Reflexionsmuster eines weiteren Teilbereiches eines Körpers zu vergleichen. Es findet sich in diesem Dokument kein Hinweis auf die Verwendung einer Hyperspektralkamera.

[0006] US5293538 schlägt die Umwandlung des reflektierten Lichtes in ein erstes Bildsignal und des verstreuten Lichtes in ein zweites Bildsignal vor, wobei die Bildsignale verglichen werden.

[0007] Es findet sich in US59633278 auch kein Hinweis zur Aufnahme der reflektierten Lichtstrahlen mittels einer Hyperspektralkamera.

[0008] US4629319 offenbart das Beleuchten eines Werkstückes mit Licht und das Detektieren von hellen und dunkeln Teilbereichen. Das Werkstück muss nicht zwingend aus einem lichtdurchlässigen Material hergestellt sein.

[0009] Es findet sich in US20070057184 auch kein Hinweis auf die Verwendung einer Hyperspektralkamera, um bei dem in diesem Dokument beschriebenen Verfahren Diskontinuitäten zu detektieren.

[0010] US6617136 schlägt Richten von Lichtstrahlen in einem spitzen Winkel auf die Oberfläche des Werkstückes vor.

[0011] Das in US5426506 offenbarte Verfahren basiert auf der Verwendung von Laserlicht.

[0012] US3814946 offenbart ein Verfahren zur Detektion von Diskontinuitäten mittels eines ersten und eines zweiten Lichtstrahles.

[0013] DE102015223853 und JP201813457 offenbaren die Verwendung einer Hyperspektralkamera und nicht die Aufnahme von monochromatischem Licht mittels einer optischen Kamera.

[0014] US2012044344 und JP20141336694 erwähnen die Aufnahme von monochromatischem Licht mit einer optischen Kamera. Diese Dokumente liefern jedoch keinen Hinweis auf die Verwendung eines Streulichtringes zur Erzeugung des monochromatischen Lichtes.

[0015] Das erfindungsgemäße Verfahren stellt sich die Aufgabe, ein zuverlässiges und einfach durchzuführendes Verfahren zur Detektion von Diskontinuitäten in einem lichtdurchlässigen Werkstück bereitzustellen. Die durch Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens zu detektierenden Diskontinuitäten können in einer Oberflächenschicht des Werkstückes oder im Körper des Werkstückes angeordnet sein. Eine Oberflächenschicht kann hierbei eine Schicht durch den lichtdurchlässigen Körper selbst oder durch eine auf die Oberfläche aufgebrachte Schicht wie

eine Lackschicht oder eine Folie oder eine Adhäsionsschicht sein.

[0016] Ein Werkstück wird im Rahmen der Offenbarung dieser Erfindung als lichtdurchlässig angesehen, wenn zumindest eine Teilmenge der auf die Werkstückoberfläche gerichteten Lichtstrahlen durch das Werkstück transmittiert wird. Das Werkstück kann beispielsweise ein Kunststoff oder ein Glas sein.

[0017] Erfindungsgemäß wird dies durch die Durchführung eines Verfahrens gemäß Anspruch 1 erreicht.

[0018] Die positiven Effekte, welche durch die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens erzielbar sind, sind durch eine genauere Detektion der geometrischen Diskontinuitäten begründet. In der nachstehenden Figurenbeschreibung werden diese positiven Effekte anhand von Figuren beschrieben.

[0019] Die Aufnahme der transmittierten Lichtstrahlen (Durchlichtverfahren) erfolgt in vorteilhafter Weise unter Abschattung, um so mögliche Störeinflüsse auf die Aufnahme der transmittierten Lichtstrahlen zu minimieren.

[0020] Der Fachmann wählt die Eigenschaften der monochromatischen Lichtstrahlen in Abhängigkeit der Eigenschaft der optischen Kamera und/oder der Eigenschaften des Werkstückes unter Anwendung der gängigen Lehre und/oder seiner Erfahrung. Der Fachmann kann auch den Effekt von unterschiedlichen Eigenschaften der monochromatischen Lichtstrahlen an dem eine Diskontinuität umfassenden Werkstück erproben und dem entsprechend die Eigenschaft der monochromatischen Lichtstrahlen zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wählen.

[0021] Der Fachmann wählt weiters die Eigenschaften und die Funktionen der Hyperspektralkamera in Abhängigkeit der Eigenschaft der Lichtquelle und/oder der Eigenschaften des Werkstückes unter Anwendung der gängigen Lehre und/oder seiner Erfahrung.

[0022] Das erfindungsgemäße Verfahren kann sich dadurch auszeichnen, dass die Detektion der Diskontinuitäten im Werkstück entweder durch die Aufnahme der reflektierten Lichtstrahlen mittels einer Hyperspektralkamera oder durch die Aufnahme der monochromatischen transmittierten Lichtstrahlen mittels einer optischen Kamera aufgenommen werden.

[0023] Bei einer ausschließlichen Aufnahme der reflektierten Lichtstrahlen sind Diskontinuitäten in nicht gekrümmten, im Wesentlichen ebenen Teilflächen gut erkennbar. Die Detektion der Diskontinuitäten ist anhand von hellen Teilbereichen und dunklen Teilbereichen gut möglich, wobei die hellen Teilbereiche die Diskontinuitäten im Werkstück anzeigen.

[0024] Bei einer gekrümmten Form des Werkstückes und/oder bei einer gekrümmten Oberfläche des Werkstückes kann bei einer ausschließlichen Aufnahme der reflektierten Lichtstrahlen nicht mehr eindeutig und klar zwischen einer durch eine Diskontinuität hervorgerufenen geänderten Reflexion von Lichtstrahlen und einer durch die gekrümmte Oberfläche bedingten geänderten Reflexion von Lichtstrahlen unterschieden werden. In beiden Fällen werden helle Teilbereiche angezeigt. Eine als ein heller Teilbereich angezeigte Krümmung der Oberfläche kann so eine ebenso als ein heller Teilbereich angezeigte Diskontinuität überdecken und sohin unerkennlich machen.

[0025] Das erfindungsgemäße Verfahren kann sich aber auch dadurch auszeichnen, dass die Detektion der Diskontinuitäten durch eine Zusammenschau der Verfahren zur Aufnahme der reflektierten Lichtstrahlen und zur Aufnahme der transmittierten Lichtstrahlen erfolgt. Das erfindungsgemäße Verfahren wird bei dieser Ausformung noch verlässlicher in der Erkennung der Diskontinuitäten als bei der ausschließlichen Aufnahme von transmittierten Lichtstrahlen oder reflektierten Lichtstrahlen.

[0026] Das erfindungsgemäße Verfahren ist durch die Zusammenschau der Verfahren nicht mehr darauf beschränkt, dass die Lichtstrahlen in einem bestimmten Winkel auf die Werkstückoberfläche gerichtet sein müssen, wie dies oben anhand des Beispiels der Untersuchung von gekrümmten Oberflächen oder gekrümmten Körpern dargelegt ist.

[0027] Bei einer Zusammenschau der Aufnahmeverfahren können die Ergebnisse der einzelnen Verfahren miteinander verglichen und ein Grad einer Übereinstimmung unter Anwendung der gängigen Lehre berechnet werden. Unterschreitet der Grad der Übereinstimmung einen definierten Grenzwert, so kann im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens eine manuelle Kontrolle eines bestimmten Teilbereiches erforderlich sein.

[0028] Das erfindungsgemäße Verfahren kann sich dadurch auszeichnen, dass zur Aufnahme der reflektierten Lichtstrahlen derartige Lichtstrahlen mit einer Wellenlänge eingesetzt werden, bei welcher Wellenlänge die Lichtstrahlen nicht durch das Werkstück transmittiert werden.

[0029] Der Fachmann ist in der Lage, die Wellenlänge der Lichtstrahlen zur Durchführung einer ausschließlichen Aufnahme der reflektierten Lichtstrahlen in Abhängigkeit der Materialeigenschaften des Werkstückes so zu wählen, dass keine Lichtstrahlen durch das Werkstück transmittiert werden. Der Anteil der transmittierten Lichtstrahlen und der Anteil der reflektierten Lichtstrahlen ist eine werkstoffabhängige Größe.

[0030] Das erfindungsgemäße Verfahren kann umfassen, dass die Lichtstrahlen unter Verwendung einer Streulichtfläche und/oder eines Streulichtringes von der Lichtquelle abgegeben werden.

[0031] Insbesondere zu der Aufnahme von reflektierten Lichtstrahlen ist die Verwendung eines Streulichtringes vorteilhaft, um so eine linienkonforme Reflexion zu gewährleisten. Die Verwendung eines Streulichtes ist insbesondere bei der Untersuchung von polygonal ausgeformten Werkstücken sinnvoll, da hierdurch im Wesentlichen eine Reflexion der Lichtstrahlen an der gesamten Oberfläche des Körpers gewährleistet ist.

[0032] Vorteilhaft werden die Lichtstrahlen in einem Winkel von 30° bis 60° auf die Werkstückoberfläche gerichtet. Bei einer Versuchsanlage, bei welcher die Lichtstrahlen in einem Winkel von 45° auf die zu untersuchende Oberfläche gerichtet waren, wurden sehr gute Ergebnisse erzielt.

[0033] Das erfindungsgemäße Verfahren kann umfassen, dass die Lichtstrahlen unter Einhaltung des oben angegebenen Winkel auf eine Teilfläche der Oberfläche des Körpers gerichtet werden.

[0034] Das erfindungsgemäße Verfahren ist geeignet, um die Diskontinuitäten in einer auf der Werkstückoberfläche aufgetragenen Lackschicht zu detektieren.

[0035] Weist die Lackschicht eine Ausnehmung auf, so sind hier die Eigenschaften der von der Lackschicht ausgenommenen Werkstückoberfläche bezüglich der reflektierten Lichtstrahlen und/oder der transmittierten Lichtstrahlen entscheidend, während bei einer intakten Lackschicht die Eigenschaften der Lackschichtoberfläche entscheidend sind. Unter der Annahme, dass die Lackschicht und das Werkstück unterschiedliche optische Eigenschaften aufweisen, ist eine Ausnehmung gut detektierbar.

[0036] Unter der Annahme, dass eine auf einer Werkstückoberfläche aufgetragene Adhäsionsschicht andere optische Eigenschaften aufweist als das Werkstück, sind Diskontinuitäten in einer an der Oberfläche eines lichtdurchlässigen Werkstückes aufgetragenen Adhäsionsschicht mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens erkennbar.

[0037] Das erfindungsgemäße Verfahren ist auch geeignet, um eine Adhäsionsschicht zwischen zwei lichtdurchlässigen Werkstücken auf Diskontinuitäten zu untersuchen.

[0038] Das erfindungsgemäße Verfahren ist weiters zur Detektion von Diskontinuitäten in einer an der Oberfläche eines lichtdurchlässigen Werkstückes aufgetragenen lichtdurchlässigen Folie geeignet.

[0039] Die Lackschicht und/oder die Adhäsionsschicht und/oder die Folie kann lichtdurchlässige Eigenschaften aufweisen.

[0040] Das erfindungsgemäße Verfahren wird weiters durch die nachstehenden Figuren und die nachstehende Figurenbeschreibung erläutert.

[0041] 1 Diskontinuität

[0042] 2 Haar

[0043] 3 Reflexionszone

[0044] 4 Kontrollbild

[0045] 5 Diagramm

[0046] Figur 1 zeigt einen Teilbereich eines aus einem transparenten Kunststoff hergestellten Abdeckung Scheinwerfers, welcher eine Diskontinuität 1 aufweist. Neben der Diskontinuität 1 ist weiters ein Haar 2 als eine Form der Verschmutzung zu erkennen. Der in Figur 1 gezeigte Teilbereich wird mit einer Lichtquelle beleuchtet, wobei ein erster Teilbereich auf die Oberfläche des Teilbereiches emittierten Lichtstrahlen an der Oberfläche des Teilbereiches reflektiert wird. Bei dem in Figur 1 enthaltenen Bild sind die reflektierten Lichtstrahlen aufgenommen.

[0047] Das auf die Oberfläche emittierte Licht wird in Abhängigkeit der Form der Oberfläche reflektiert. Es ist eine Reflexionszone 3 ausmachbar, in welcher die Lichtstrahlen in einem hohen Maß reflektiert werden, was in dem Bild in Figur 1 als ein heller Bereich erkennbar ist.

[0048] Der Fachmann erkennt, dass weder die Diskontinuität 1 noch das Haar 2 gut erkennbar sind. Die Diskontinuität 1 und das Haar 2 sind im Bild in Figur 1 gleichermaßen als helle Bereiche wahrzunehmen, sodass keine Unterscheidung zwischen diesen möglich ist.

[0049] Figur 2 zeigt ein Bild von einem Teilbereich einer aus einem transparenten Kunststoff hergestellten Abdeckung eines Scheinwerfers, welcher Scheinwerfer eine Diskontinuität 1 aufweist. Weiters ist ein Haar 2 als eine Verschmutzung zu erkennen. Der Scheinwerfer wurde wiederum mit einer Lichtquelle beleuchtet, wobei bei dem in Figur 2 gezeigten Bild die transmittierten Lichtstrahlen aufgenommen wurden. Das in Figur 2 enthaltene Bild ist sohin das Ergebnis einer Durchlichtmessung.

[0050] Der Fachmann erkennt, dass das in Figur 2 gezeigte Bild schon deutlich besser zu erkennen. Dennoch ist das in Figur 2 gezeigte Bild für eine hinreichend genaue Erkennung der Diskontinuität 1 und des Haares 2 nicht geeignet, da die Kontraste des in Figur 2 gezeigten Bildes nicht hinreichend stark sind. Weiters zeigt das Bild der Figur 2 Flecken, welche Flecken auf eine ungleiche Intensität der Lichtquelle zurückzuführen sind. Es ist auch Aufgabe des erfindungsgemäßen Verfahrens, derartige Flecken als Störfaktoren auszuschließen.

[0051] Figur 3 zeigt eine Möglichkeit der Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Detektion von Diskontinuitäten 1 in einem Werkstück. Das Bild in Figur 3 wurde durch eine Beleuchtung des transparenten Scheinwerfers mit monochromatischen Lichtstrahlen und der Aufnahme der transmittierten Lichtstrahlen erstellt. Diese Messung wird in einem Lichtlabor unter Abschattung erstellt, wobei an einer Seite der Abdeckung des Scheinwerfers eine zur Abgabe von monochromatischem Licht geeignete Lichtquelle und an der gegenüberliegenden Seite des Scheinwerfers eine Kamera nach dem Stand der Technik angeordnet ist. Der Scheinwerfer ist hierzu zwischen der Lichtquelle und der Kamera durch eine geeignete Halterung aufgehängt.

[0052] Der Fachmann erkennt, dass die Diskontinuität 1 in dem in Figur 3 enthaltenen Bild sehr deutlich erkennbar ist. Im Unterschied zu dem in Figur 2 gezeigten Bild ist der keine Diskontinuitäten umfassende Teilbereich in einem einheitlichen Farbton dargestellt.

[0053] Die Durchlichtmessungen mittels monochromatischem Licht ist vor allem zur Erkennung von Kratzern und/oder Kerben und/oder Vorsprüngen geeignet.

[0054] Zur Erkennung von Unebenheiten an der Oberfläche des Teilbereiches der Abdeckung des Scheinwerfers - auch als Orangenhaut bezeichnet - wird die zweite Teilmenge der Lichtstrahlen mittels einer Hyperspektralkamera nach dem Stand der Technik aufgenommen. Figur 4 zeigt ein Bild einer Ausgabeeinheit einer derartigen Hyperspektralkamera, welche Hyperspektralkamera das beleuchtete Werkstück zeilenförmig abtastet.

[0055] An der Ausgabeeinheit wird eine Diskontinuität 1 im Kontrollbild 4 in Form eines Bereiches angezeigt. Weiters ist die Diskontinuität 1 anhand des Diagrammes 5 erkennbar, welches den zeilenmäßigen Verlauf (x-Achse) der Menge der reflektierten Strahlen (y-Achse) darstellt. Im

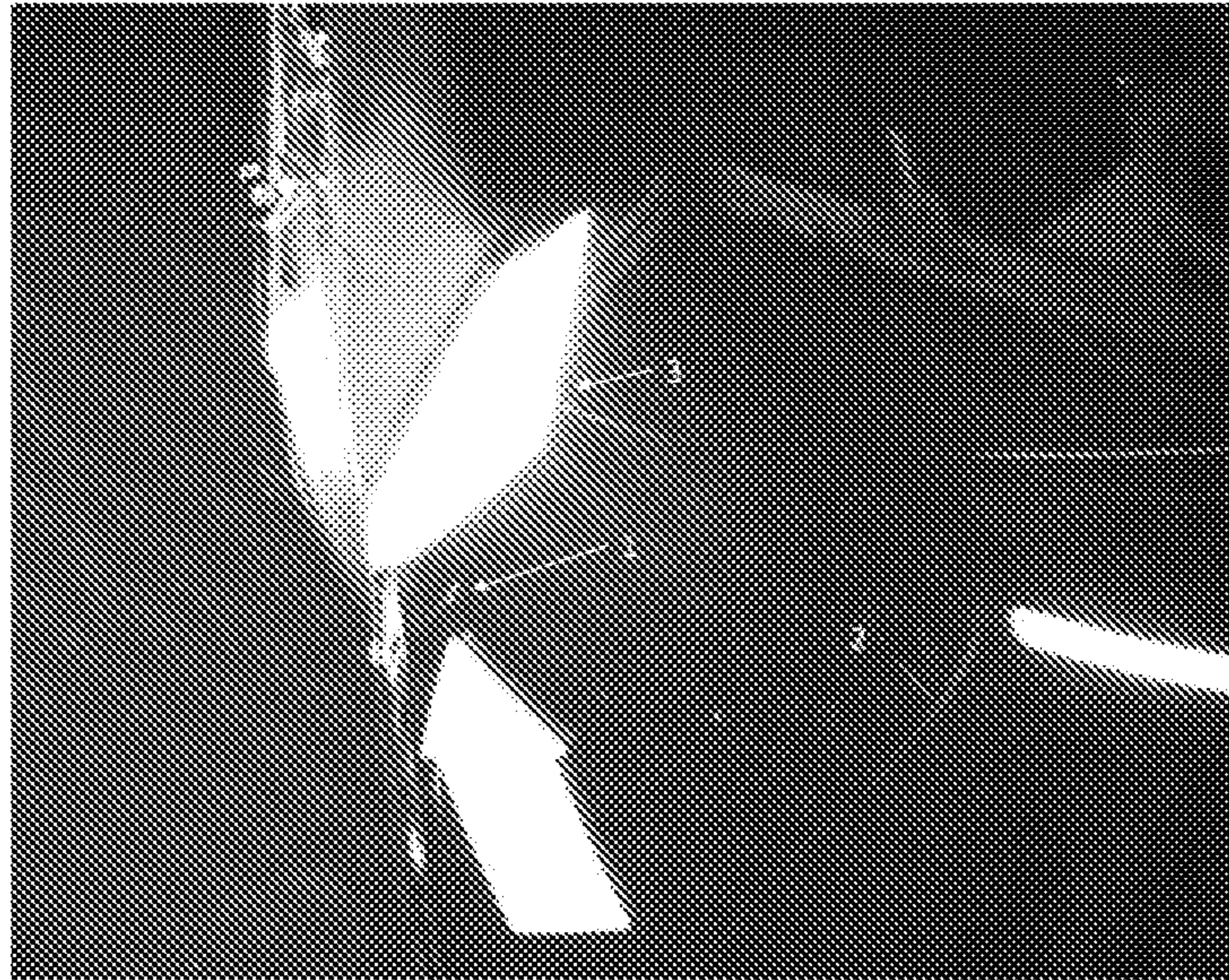
Bereich der Diskontinuität ist ein Maximum der reflektierten Strahlen erkennbar.

[0056] Es kann sohin sowohl durch eine Durchlichtmessung mittels monochromatischem Licht als auch durch eine Reflexionsmessung unter Verwendung einer Hyperspektralkamera eine Diskontinuität detektiert werden. Es können die Ergebnisse der Messungen miteinander verglichen werden, um so die Genauigkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens weiter zu erhöhen.

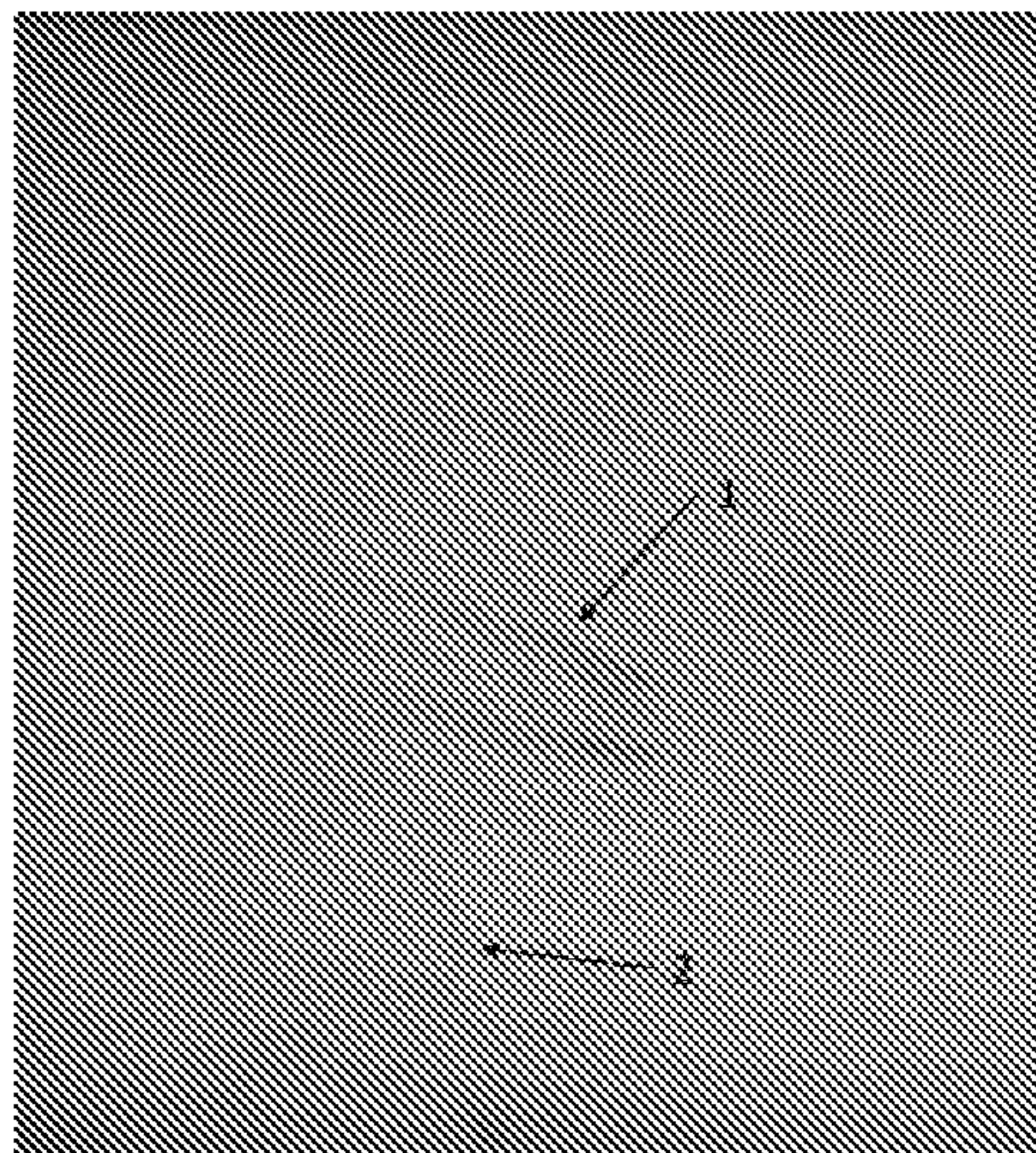
Patentansprüche

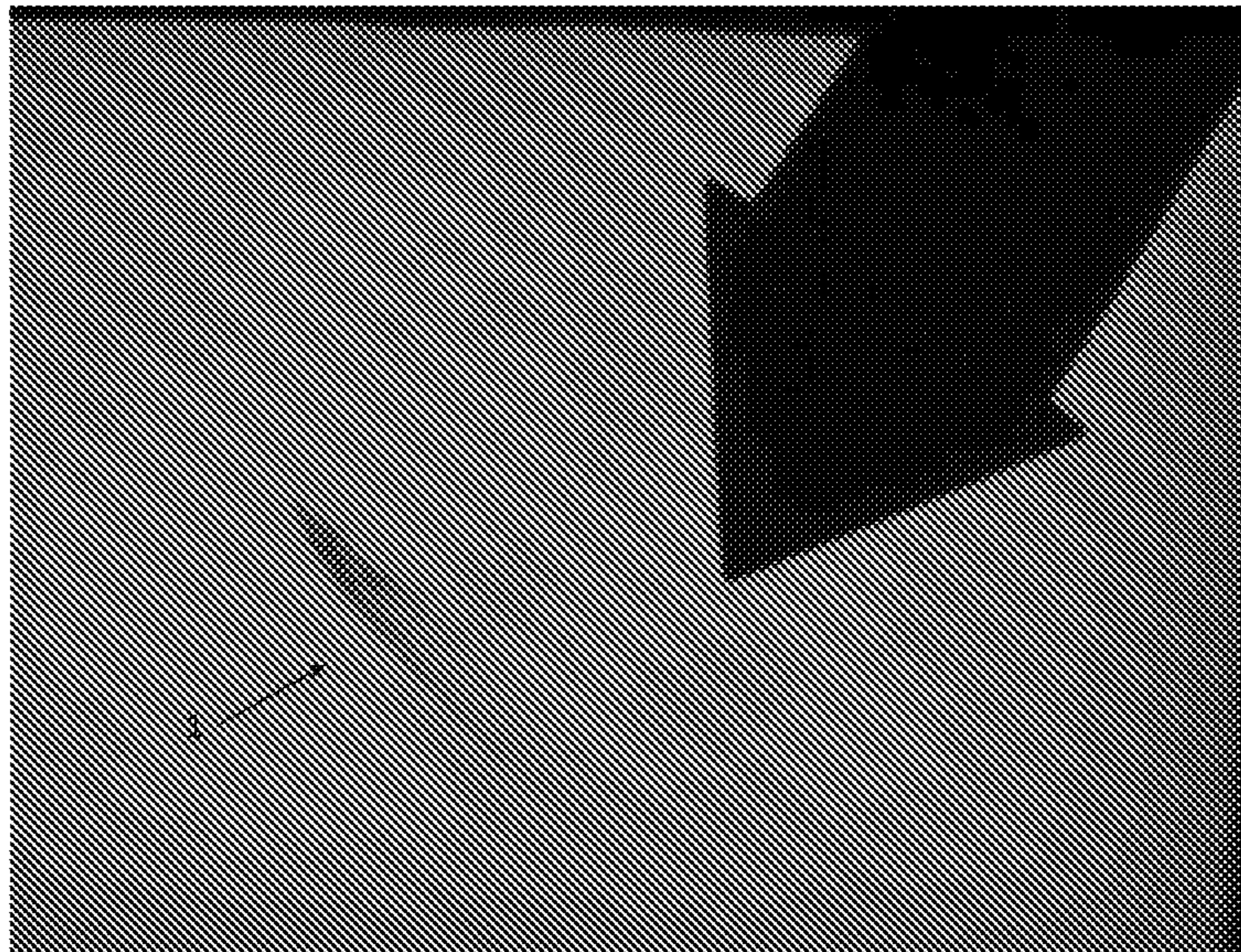
1. Verfahren zu einer zerstörungsfreien Detektion von geometrischen Diskontinuitäten in einem lichtdurchlässigen Werkstück, wobei von zumindest einer Lichtquelle emittierte Lichtstrahlen auf das Werkstück gerichtet werden, sodass eine erste Teilmenge der Lichtstrahlen unter einem ersten Reflexionswinkel an der Werkstückoberfläche reflektiert wird und eine zweite Teilmenge der Lichtstrahlen unter einem ersten Brechungswinkel durch das Werkstück transmittiert wird, wobei gegebenenfalls eine dritte Teilmenge an Lichtstrahlen durch die Diskontinuitäten unter einem zweiten Reflexionswinkel an der Diskontinuitätenoberfläche der Diskontinuität reflektiert wird und eine vierte Teilmenge an Lichtstrahlen durch die Diskontinuitäten unter einem zweiten Brechungswinkel transmittiert wird,
dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtstrahlen unter Verwendung eines Streulichtringes von der Lichtquelle abgegeben werden, wobei monochromatische Lichtstrahlen als transmittierte Lichtstrahlen mittels einer optischen Kamera aufgenommen werden und die reflektierten Lichtstrahlen durch eine Hyperspektralkamera aufgenommen werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Aufnahme der reflektierten Lichtstrahlen Lichtstrahlen mit einer Wellenlänge eingesetzt werden, bei welcher Wellenlänge die Lichtstrahlen nicht durch das Werkstück transmittiert werden.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lichtstrahlen in einem Winkel von 30° bis 60° auf die Werkstückoberfläche gerichtet werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3 zur Detektion von Diskontinuitäten in einer an der Oberfläche eines lichtdurchlässigen Werkstückes aufgetragenen lichtdurchlässigen Lackschicht.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3 zur Detektion von Diskontinuitäten in einer an der Oberfläche eines lichtdurchlässigen Werkstückes aufgetragenen Adhäsionsschicht.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3 zur Detektion von Diskontinuitäten in einer an der Oberfläche eines lichtdurchlässigen Werkstückes aufgetragenen lichtdurchlässigen Folie.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

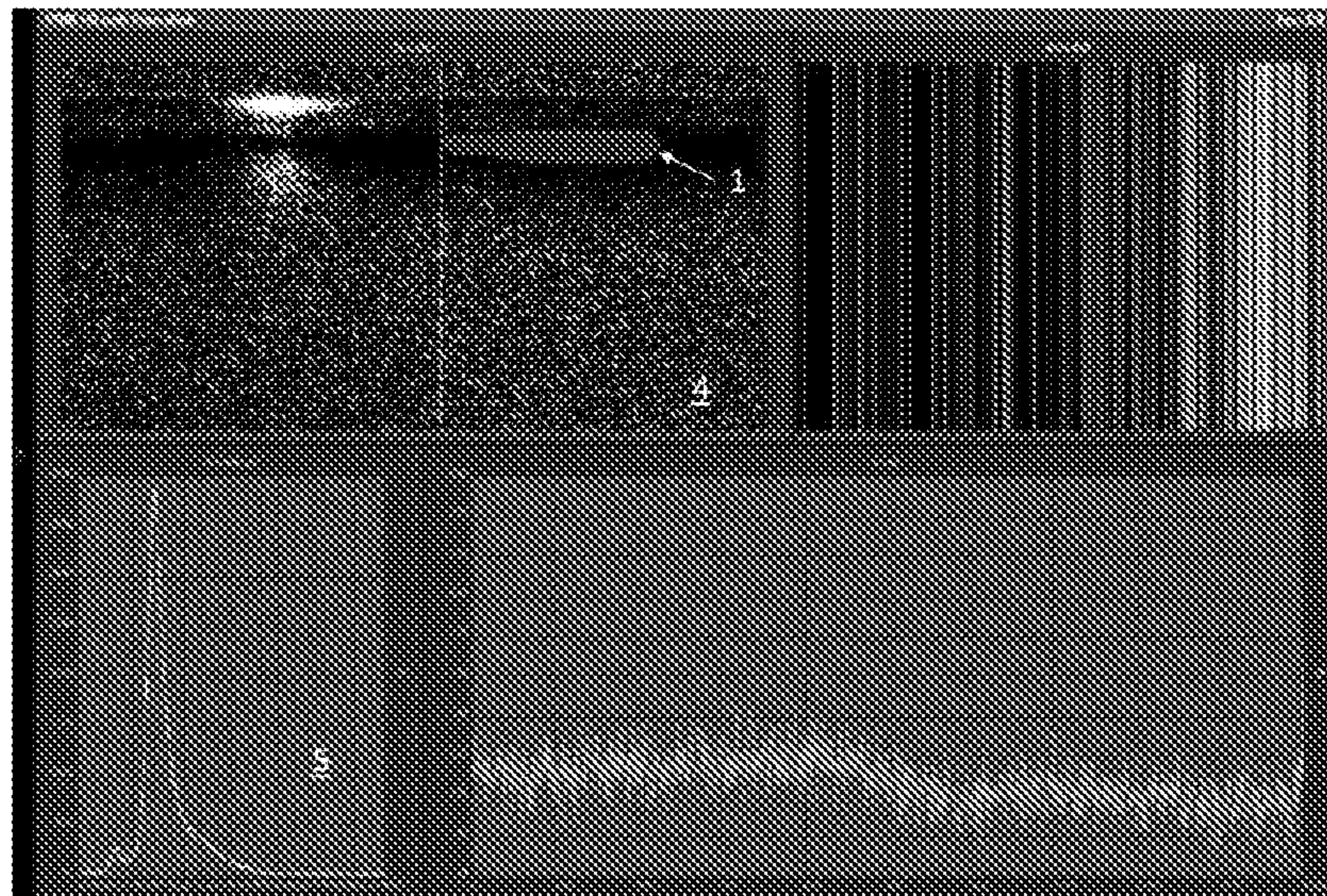


Figur 1





Figur 3



Figur 4