



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2007 054 099 A1 2009.05.14

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2007 054 099.1

(22) Anmeldetag: 13.11.2007

(43) Offenlegungstag: 14.05.2009

(51) Int Cl.⁸: **H01L 21/66** (2006.01)
G01N 15/14 (2006.01)

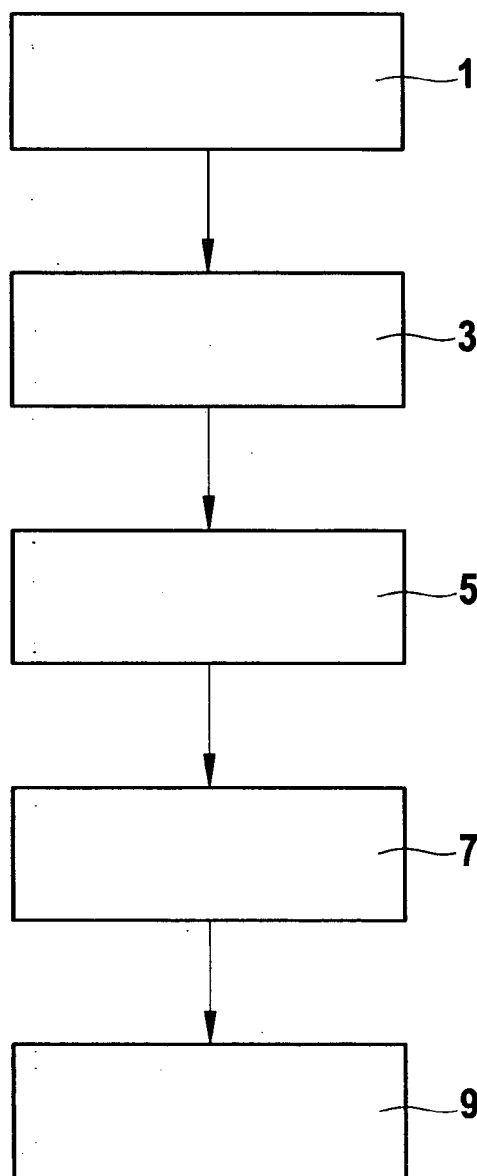
(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
**Goerlitz, Linus, 51069 Köln, DE; Staudacher,
Maximilian, 74385 Pleidelsheim, DE; Hamprecht,
Fred, 69469 Weinheim, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Zuordnung von Partikeln zu Entstehungsprozessen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Zuordnung von Partikeln zu ihrem Entstehungsprozess, bei dem in einem ersten Schritt ein vergrößertes, hochaufgelöstes und kontrastreiches Bild des Partikels aufgenommen wird und in einem zweiten Schritt die exakte Partikelposition bestimmt wird. Daran anschließend werden die Hu-Invarianten und ein gewichtetes Gradientenphasenhistogramm auf der Oberfläche des Partikels berechnet. Abschließend erfolgt eine integrierte Klassifikation der Hu-Invarianten und des Gradientenphasenhistogramms zur Identifikation des Entstehungsprozesses. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Verwendung des Verfahrens.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Zuordnung von Partikeln zu ihrem Entstehungsprozess.

[0002] Bei Verfahren, die eine große Reinheit an den Herstellungsprozess erfordern, insbesondere derartige Verfahren, bei denen bereits einzelne Partikel zu einer Schädigung oder gar einem Unbrauchbarwerden des Produktes führen, ist es wünschenswert, wenn der Entstehungsprozess derartiger Partikel, die zu einer solchen Verunreinigung führen, bekannt ist. Prozesse, die eine derartige Reinheit erfordern, sind z. B. Verfahren zur Herstellung von Wafern, wie sie in der Halbleitertechnik eingesetzt werden.

[0003] Verfahren, mit denen Partikel ihrem Entstehungsprozess zugeordnet werden können, sind derzeit noch nicht bekannt. Es ist lediglich z. B. aus DE-A 10 2005 004 599 bekannt, ein Messobjekt auf einem Halbleiterwafer mit einem Messgerät zu vermessen. Hierbei wird anhand des gemessenen Intensitätsprofils auf dem Halbleiterwafer in einem ersten Auswerteschritt ein erstes Zielobjekt gesucht, um dessen charakteristischen Parameter als erstes Messergebnis zu bestimmen. Wenn jedoch diese Auswertung fehlschlägt oder große Abweichungen zu bekannten Prozess-Spezifikationen zeigt, wird ein weiterer Auswerteschritt mit einem anderen Zielobjekt gesucht, wobei ebenfalls dessen charakteristischer Parameter bestimmt wird. Hierdurch ist es möglich, nacheinander nach unterschiedlichen Zielobjekten mit nur einer Messvorschrift zu suchen. Als Zielobjekte werden z. B. Strukturelemente betrachtet, die auf einem Halbleiterwafer ausgebildet sind. Das Messgerät, mit dem die Zielobjekte gesucht werden, ist im allgemeinen ein Rasterelektronenmikroskop.

Offenbarung der Erfindung

Vorteile der Erfindung

[0004] Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Zuordnung von Partikeln zu ihrem Entstehungsprozess umfasst folgende Schritte:

- (a) Aufnahme eines vergrößerten, hochaufgelösten kontrastreichen Bildes des Partikels,
- (b) Bestimmen der exakten Partikelposition in dem Bild,
- (c) Binarisieren des Bildes des Partikels, Berechnen der Hu-Invarianten und Berechnen eines gewichteten Gradientenphasenhistogramms auf der Oberfläche des Partikels,
- (d) Integrierte Klassifikation der Hu-Invarianten und des Gradientenphasenhistogramms zur Identifikation des Entstehungsprozesses.

[0005] Durch das erfindungsgemäße Verfahren lassen sich Partikel anhand eines Rückstreubildes eines Rasterelektronenmikroskops dem verursachenden Prozess zuordnen. Insbesondere können auch Partikel zugeordnet werden, deren Quelle nicht über ein singulär verwendetes Material identifiziert werden kann. Dadurch sind Partikelquellen identifizierbar und die Verursacher von Prozessinstabilitäten können zielgerichtet identifiziert werden. Durch die zielgerichtete Identifikation von Prozessinstabilitäten kann bei Sauberkeitsproblemen zielgerichtet eingegriffen werden. Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist, dass sich dieses ohne großen Aufwand in ein bestehendes Verfahren zur Restschmutzanalytik integrieren lässt.

[0006] Die Partikelposition wird üblicherweise durch ein Bildbearbeitungsverfahren bestimmt. Hierzu wird im allgemeinen die digitalisierte Aufnahme des Rasterelektronenmikroskops einem gängigen Bildbearbeitungsverfahren unterzogen. Da der Partikel und der Hintergrund unterschiedliche Grauwerte oder Texturen bei einem Grauwertbild oder unterschiedliche Farben oder Texturen bei einer farbigen Aufnahme aufweisen, kann anhand der Unterschiede im Grauton bzw. der Farbdifferenzen der Partikel erkannt werden und so die Position des Partikels bestimmt werden.

[0007] Wenn das Verfahren zur Zuordnung von Partikeln zu ihrem Entstehungsprozess Teil eines umfassenden Analyseverfahrens ist, z. B. einer Restschmutzanalytik, ist es möglich, die Partikelposition durch Deduktion aus der Partikeldetektion in einem vorhergehenden Analyseschritt zu bestimmen. Hierbei wird in dem vorhergehenden Schritt zunächst erkannt ob überhaupt Partikel vorliegen. Wenn Partikel gefunden werden, kann hieraus auch der Ort des Partikels abgeleitet werden.

[0008] Von dem Partikel wird dann ein vergrößertes Bild aufgenommen. Die maximale Vergrößerung ist dabei abhängig vom eingesetzten Verfahren. Üblicherweise erfolgt die Aufnahme mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops. In üblichen Restschmutzanalytik-Prozessen ergibt sich hierdurch maximal eine 2000-fache Ver-

größerung.

[0009] Die charakterisierenden Eigenschaften eines Partikels sind dessen Form und Bearbeitungstextur. Diese schwanken sehr stark mit dem vorliegenden Material. Aus diesem Grund ist es bevorzugt, vor der Zuordnung zu einem Entstehungsprozess das Material des Partikels zu bestimmen. Die Bestimmung des Material erfolgt durch ein EDX-Spektrum, das von der gesamten Partikeloberfläche aufgenommen und mit Standard-Software ausgewertet wird.

[0010] Besonders bevorzugt erfolgt die Bestimmung des Materials des Partikels direkt im Anschluss an die Aufnahme des vergrößerten, hochaufgelösten und kontrastreichen Bildes.

[0011] Nach der Bestimmung des Materials des Partikels werden die Hu-Invarianten und das gewichtete Gradientenphasenhistogramm auf der Oberfläche des Partikels berechnet. Die Hu-Invarianten dienen zur Formcharakterisierung des Partikels. Als Hu-Invarianten werden die von Hu in M. K. Hu, „Visual Pattern Recognition by Moment Invariants“, IRE Transactions on Information Theory, 1962, S. 179–187, eingeführten invarianten Objektmomente zur Formcharakterisierung genutzt. Diese dienen dazu, eine Invarianz unter Rotation und Skalierung bei der Formbeschreibung zu erreichen.

[0012] Die Textur des Partikels wird durch ein gewichtetes Gradientenphasenhistogramm beschrieben. Hierzu wird für jedes Pixel der Partikeloberfläche im binarisierten Bild des Partikels der diskrete Gradient berechnet und dieser in Amplitude und Phase zerlegt. Die Berechnung des Gradienten erfolgt dabei im Allgemeinen mit in der Bildverarbeitung üblichen Verfahren durch Faltung mit einer geeigneten Maske.

[0013] Nach dem Zerlegen der Gradienten in Amplitude und Phase werden die Phasen der Gradienten aller Pixel der Partikeloberfläche in einem Histogramm zusammengefasst. Der Beitrag zum Histogramm wird mit der Amplitude gewichtet. Das Zusammenfassen der Gradienten aller Pixel der Partikeloberfläche erfolgt vorzugsweise mit 2-Grad-Schritten. Beim Zusammenfassen der Gradienten werden antiparallele Gradienten identifiziert. Hierdurch ist es möglich, nur Richtungen zwischen 0° und 180° zu verwenden. Auf diese Weise bekommen wichtige Bearbeitungskanten im Bild einen größeren Einfluss auf das Histogramm, da dort mit großen Beträgen beim Gradienten zu rechnen ist. Das entstandene Histogramm wird soweit rotiert, dass der maximale Wert des Histogramms an Position 1 steht. Hierdurch wird ermöglicht, dass das Histogramm invariant unter Rotationen ist. Eine Invarianz gegen unterschiedliche Partikelgrößen und eine Robustheit gegen Beleuchtungsschwankungen wird dadurch erreicht, dass das Histogramm abschließend summennormiert wird. Auf diese Weise erhält man pro Partikel ein Set von 7 Forminvarianten und ein Phasenhistogramm mit 90 Einträgen.

[0014] Um das so beschriebene Partikel einem Entstehungsprozess zuordnen zu können, erfolgt abschließend eine integrierte Klassifikation der Hu-Invarianten und des Gradientenphasenhistogramms. Dies erfolgt vorzugsweise mit Hilfe eines k-nächste Nachbarn-Klassifikators und einer gemischten euklidisch-symmetrisierten-Kullback-Leibler-Divergenz-Semi-Metrik. Die gemischte euklidisch-symmetrisierte-Kullback-Leibler-Divergenz-Semi-Metrik wird als Abstandsmaß für den k-nächsten Nachbarn-Klassifikator verwendet. Hierzu ist eine euklidische Metrik für 2 Sets an Formparametern x, y definiert als

$$L_2(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^7 (x_i - y_i)^2} \quad x, y \in \mathbb{R}^7$$

und bei den Histogrammen eine symmetrisierte Kullback-Leibler-Divergenz, die gegeben ist durch

$$KL_s(p \| q) = \frac{1}{2} \cdot \left(\sum_{i=1}^N p(x_i) \log \frac{p(x_i)}{q(x_i)} + \sum_{i=1}^N q(x_i) \log \frac{q(x_i)}{p(x_i)} \right)$$

mit Histogrammen p, q verwendet und beide Abstandswerte werden materialabhängig gemischt. Das Mischen erfolgt nach folgender Gleichung

$$FM(P, Q) = (1 - \lambda) \cdot L_2(P_{Obj}, Q_{Obj}) + \lambda \cdot KL_s(P_{Histo}, Q_{Histo}).$$

[0015] Hierbei kann der optimale Wert für den Mischungsparameter λ durch Kreuzvalidierung über ein Testset inferiert werden.

[0016] Auch der Parameter k des k -nächsten Nachbarn-Klassifikators wird vorzugsweise durch Kreuzvalidierung auf einem Testset bestimmt. Das Testset kann durch gesonderte Vorversuche leicht erstellt werden. Bei den Vorversuchen ist hierbei die Prozessherkunft bekannt.

[0017] Um eine Zuordnung des Partikels zum Entstehungsprozess zu ermöglichen, werden vorzugsweise für unterschiedliche Entstehungsprozesse Vergleichswerte aus Testdaten bestimmt. Die Zuordnung zu einem Entstehungsprozess erfolgt durch Vergleich der Hu-Invarianten und des Gradientenphasenhistogramms mit den Vergleichswerten. Das Partikel wird dabei jeweils demjenigen Entstehungsprozess zugeordnet, dem ein Vergleichspartikel zugehört, dessen Merkmale am nächsten zu den Merkmalen des zu klassifizierenden Partikels liegen.

[0018] Das erfindungsgemäße Verfahren wird vorzugsweise zur Identifizierung von Partikelquellen in der Restschmutzanalytik eingesetzt. Diese kommt insbesondere zu tragen in Fertigungsprozessen, die unter hochreinen Bedingungen durchgeführt werden müssen. Derartige Fertigungsprozesse sind z. B. die Herstellung von Halbleiterwafern.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0019] Eine Ausführungsform der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

[0020] Die einzige Figur zeigt ein Flussdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Ausführungsformen der Erfindung

[0021] In der einzigen Figur ist ein Flussdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt.

[0022] In einem ersten Schritt **1** wird ein vergrößertes, hochaufgelöstes und kontrastreiches Bild eines Partikels aufgenommen. Hierzu wird vorzugsweise ein Rasterelektronenmikroskop eingesetzt. Es ist jedoch auch jede beliebige andere Vorrichtung einsetzbar, mit der ein vergrößertes, hochaufgelöstes und kontrastreiches Bild des Partikels aufgenommen werden kann. Üblicherweise liefern jedoch nur Rasterelektronenmikroskope hinreichende Vergrößerungen. Bevorzugt wird das Partikel mit einer Vergrößerung aufgenommen, mit der der Partikel bildfüllend abgebildet wird.

[0023] Aus dem derartig aufgenommenen Bild wird in einem zweiten Schritt **3** die exakte Partikelposition ermittelt. Dies erfolgt vorzugsweise mit üblichen Methoden der Bildverarbeitung. Hierzu ist es z. B. möglich, die Partikelposition anhand von Grauwertunterschieden oder Farbunterschieden im Bild zu ermitteln. Um die Methoden der Bildverarbeitung einsetzen zu können, ist es jedoch notwendig, das Bild zunächst in digitaler Form darzustellen, um eine entsprechende Auswertung mit Methoden der Bildverarbeitung zu ermöglichen. Diese erfolgt im allgemeinen durch Einsatz eines Computers. Alternativ zum Einsatz der Standardmethoden der Bildverarbeitung zur Detektion der exakten Partikelposition ist es auch möglich, die Position des Partikels durch Ergebnisse von früheren Schritten einer Prozesskette durch Deduktion herzuleiten. Die früheren Schritte der Prozesskette ergeben sich z. B. aufgrund einer Partikeldetektion in der Sauberkeitsanalytik, wie sie beispielsweise in Prozessen eingesetzt wird, die in hochreiner Atmosphäre durchgeführt werden. Auch bei der Partikeldetektion in der Sauberkeitsanalytik wird zunächst ein vergrößertes Bild eines Objekts aufgenommen und dieses auf Partikel hin mit Methoden der Bildverarbeitung untersucht. Die so gewonnenen Bilder können dann in einer erneuten Aufnahme weiter vergrößert werden. In diesem Fall ist es bevorzugt, wenn der erste Schritt **1** und der zweite Schritt **3** vertauscht werden. D. h. es wird zunächst die Position des Partikels detektiert und daran anschließend erfolgt die Aufnahme des vergrößerten, hochaufgelösten und kontrastreichen Bildes des Partikels.

[0024] In einem dritten Schritt **5** werden nach der Aufnahme des Bildes im ersten Schritt **1** und der Detektion der exakten Partikelposition in Schritt **3** die Hu-Invarianten für das binarisierte Partikelbild berechnet. Mit Hilfe der Hu-Invarianten erfolgt eine Formcharakterisierung des Partikels. Mit Hilfe der Hu-Invarianten lässt sich die Form des Partikels derart beschreiben, dass dieses auch unter Rotation und Skalierung des Bildes invariant ist. Auf diese Weise lässt sich eine Formcharakterisierung des Partikels erreichen, die unabhängig ist von der Vergrößerung und der Lage des Partikels.

[0025] Nach der Berechnung der Hu-Invarianten für das binarisierte Partikelbild im dritten Schritt **5** wird ein gewichtetes Gradientenphasenhistogramm auf der Oberfläche des Partikels berechnet. Diese Berechnung er-

folgt in einem vierten Schritt 7. Die Berechnung des gewichteten Gradientenphasenhistogramms erfolgt mit Hilfe des kontrastreichen Grauwertbildes, das im ersten Schritt 1 aufgenommen wurde. Durch das gewichtete Gradientenphasenhistogramm lässt sich die Textur der Oberfläche des Partikels beschreiben.

[0026] Die Textur und die Form eines Partikels sind im allgemeinen charakteristisch für den jeweiligen Entstehungsprozess. Aus diesem Grund lässt sich anhand der Form des Partikels und der Oberflächentextur auf den Entstehungsprozess des derart beschriebenen Partikels schließen. Für das gewichtete Gradientenphasenhistogramm wird für jedes Pixel der Partikeloberfläche im kontrastreichen Grauwertbild der diskrete Gradient berechnet und dieser wird in Amplitude und Phase zerlegt. Die Phasen der Gradienten aller Pixel der Partikeloberfläche werden in einem Histogramm zusammengefasst und der Beitrag zum Histogramm wird mit der Amplitude gewichtet. Das Zusammenfassen der Phasen in einem Histogramm erfolgt dabei in Schritten, die einerseits nicht zu groß gewählt werden, um gegen Rotation des Objekts hinreichend robust zu sein. Andererseits führen jedoch zu viele Bins, das heißt ein zu kleiner Wert, zu unnötigen Variationen. Als geeignet hat sich ein Zusammenfassen in 2°-Schritten erwiesen. Beim Zusammenfassen der Gradienten werden antiparallele Gradienten identifiziert werden. Es werden somit nur Richtungen zwischen 0° und 180° verwendet. Wichtige Bearbeitungskanten im Bild bekommen auf diese Weise einen größeren Einfluss auf das Histogramm, da dort mit großen Beträgen beim Gradienten zu rechnen ist. Das entstandene Histogramm wird soweit rotiert, dass der maximale Wert des Histogramms an Position 1 steht. Hierdurch wird realisiert, dass das Histogramm invariant unter Rotationen ist. Abschließend wird das Histogramm auch summenormiert, um eine Invarianz gegen unterschiedliche Partikelgrößen und eine Robustheit gegen Beleuchtungsschwankungen zu erreichen. Auf Grund der 2-Grad-Schritte hat das so erstellte gewichtete Gradientenphasenhistogramm 90 Einträge. Zusätzlich erhält man pro Partikel 7 Forminvarianten, die sich aus der Berechnung der Hu-Invarianten ergeben.

[0027] In einem abschließenden Schritt 9 wird zur Identifikation des Erzeugungsprozesses eine integrierte Klassifikation der Hu-Invarianten und des Gradientenphasenhistogramms durchgeführt. Diese erfolgt vorzugsweise mit Hilfe eines k-nächsten Nachbarn-Klassifikators und einer gemischten euklidisch-symmetrisierten-Kullback-Leibler-Divergenz-Semi-Metrik. Der Parameter k des k-nächsten Nachbarn-Klassifikators und der Mischungsparameter λ der euklidisch-symmetrisierten-Kullback-Leibler-Divergenz-Semi-Metrik werden vorzugsweise durch Kreuzvalidierung auf einem Testset bestimmt. Der Parameter k stellt dabei die Anzahl der nächsten Nachbarn des k-nächsten Nachbarn-Klassifikators dar.

[0028] Für das Testset wird das Verfahren für ein Partikel, der durch einen bekannten Entstehungsprozess entstanden ist, durchgeführt. Hierdurch ergeben sich Vergleichswerte für die Hu-Invarianten und das Gradientenphasenhistogramm. Auf diese Weise können Partikel, die durch bekannte unterschiedliche Entstehungsverfahren hergestellt wurden, bestimmt werden und deren Daten als Vergleichswerte dienen.

[0029] Die Identifikation des Erzeugungsprozesses ergibt sich dann durch Vergleich der ermittelten Werte für das aufgenommene Partikel mit den Werten für Partikel, deren Entstehungsprozess bekannt ist. Da jeweils gleiche Entstehungsprozesse für jedes Partikel ähnliche Werte ergeben, kann somit durch Vergleich mit diesen Werten auf den Entstehungsprozess geschlossen werden.

[0030] Da die Hu-Invarianten und das Gradientenphasenhistogramm jedoch stark vom Material des Partikels abhängt, ist es notwendig, um den Entstehungsprozess korrekt zuzuordnen zu können, zunächst das Material des Partikels zu ermitteln. Die unterschiedlichen Werte für verschiedene Materialien ergeben sich insbesondere aus unterschiedlichen Grauwerten für verschiedene Partikel, die aufgenommen werden.

[0031] Um das Material des Partikels zu identifizieren wird ein EDX-Spektrum aufgenommen. Dazu wird der Scanbereich des Elektronenstrahls auf die Oberfläche des Partikels eingeschränkt und die angeregte Röntgenstrahlung aufgezeichnet. Dieses EDX-Spektrum wird auf die darin enthaltenen Materialien untersucht und deren Anteil quantifiziert.

[0032] Das erfindungsgemäße Verfahren wird, wie zuvor beschrieben, vorzugsweise bei einer Restschmutzanalytik eingesetzt, wie sie z. B. bei der Kontrolle von Halbleiterwafern eingesetzt wird.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- DE 102005004599 A [\[0003\]](#)

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- M. K. Hu, „Visual Pattern Recognition by Moment Invariants“, IRE Transactions on Information Theory, 1962, S. 179–187 [\[0011\]](#)

Patentansprüche

1. Verfahren zur Zuordnung von Partikeln zu ihrem Entstehungsprozess, folgende Schritte umfassend:
 - (a) Aufnahme eines vergrößerten, hochaufgelösten und kontrastreichen Bildes des Partikels,
 - (b) Bestimmen der exakten Partikelposition in dem Bild,
 - (c) Binarisieren des Bildes des Partikels, Berechnen der Hu-Invarianten und Berechnen eines gewichteten Gradientenphasenhistogramms auf der Oberfläche des Partikels,
 - (d) integrierte Klassifikation der Hu-Invarianten und des Gradientenphasenhistogramms zur Identifikation des Entstehungsprozesses.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Partikelposition durch ein Bildbearbeitungsverfahren bestimmt wird.
3. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Partikelposition durch Deduktion aus der Partikeldetektion in einem vorgehenden Analyseschritt bestimmt wird.
4. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass vor der Zuordnung zu einem Entstehungsprozess das Material des Partikels bestimmt wird.
5. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die integrierte Klassifikation der Hu-Invarianten und des Gradientenphasenhistogramms mit Hilfe eines k-nächste Nachbarn-Klassifikators und einer gemischten euklidisch-symmetrisierten-Kullback-Leibler-Divergenz-Semi-Metrik erfolgt.
6. Verfahren gemäß Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Parameter k des k-nächste Nachbarn-Klassifikators durch Kreuzvalidierung auf einem Testset bestimmt wird.
7. Verfahren gemäß Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Mischungsparameter der euklidisch-symmetrisierten-Kullback-Leibler-Divergenz-Semi-Metrik durch Kreuzvalidierung auf einem Testset bestimmt wird.
8. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass für unterschiedliche Entstehungsprozesse Vergleichswerte aus Testdaten bestimmt werden und die Zuordnung zu einem Entstehungsprozess durch Vergleich der Hu-Invarianten und des Gradientenphasenhistogramms mit den Vergleichswerten erfolgt.
9. Verwendung des Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8 zur Identifizierung von Partikelquellen in der Restschmutzanalytik.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

