



(12) **Berichtigung der Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2008 001 174.6**

(22) Anmeldetag: **14.04.2008**

(43) Offenlegungstag: **05.11.2009**

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **14.03.2013**

(15) Korrekturinformation:

**Abs. 0008, Bezugszeichen**

(48) Veröffentlichungstag der Berichtigung: **29.05.2013**

(51) Int Cl.: **G06K 9/03 (2006.01)**

**G01N 21/95 (2006.01)**

**G01B 11/24 (2006.01)**

**G06T 7/40 (2006.01)**

(73) Patentinhaber:  
**Rudolph Technologies Germany GmbH, 55129,  
Mainz, DE**

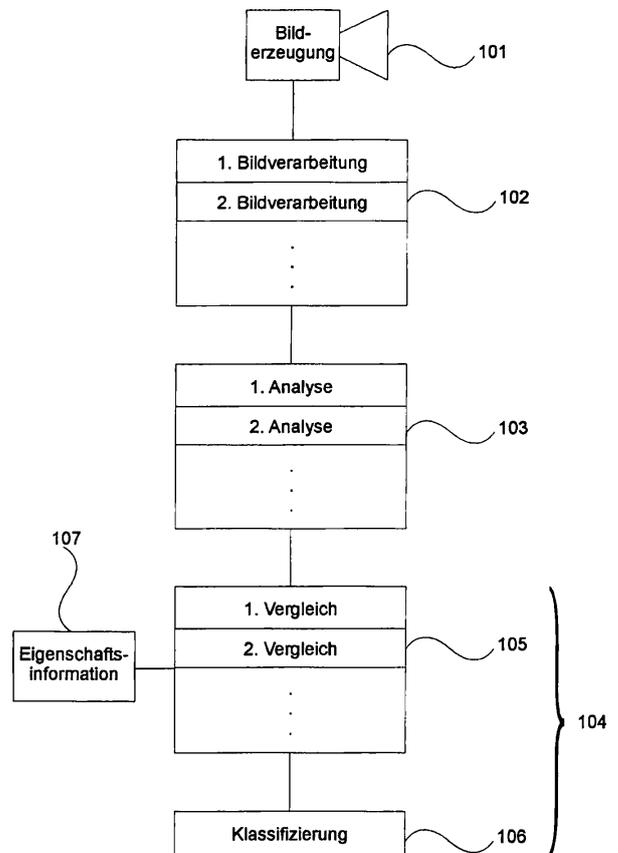
(72) Erfinder:  
**Bugner, Dirk, 55118, Mainz, DE; Sitov, Sergei,  
Tartu, Tartuma, EE; Nikolov, Mladen, Sofia, BG**

(74) Vertreter:  
**MEHLER ACHLER Patentanwälte, 65185,  
Wiesbaden, DE**

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

(54) Bezeichnung: **Inspektionssystem und -verfahren für die optische Untersuchung von Objektoberflächen, insbesondere von Waferoberflächen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Inspektionssystem, ein Inspektionsverfahren sowie ein Computerprogrammprodukt für die optische Untersuchung von Objektoberflächen, insbesondere von Waferoberflächen, auf Oberflächendefekte. Nach dem Inspektionsverfahren wird eines Bildes von der Objektoberfläche mittels einer Digitalkamera (101, 212, 222) aufgenommen, zusammenhängende Bildpunkte in dem Bild einem Defektfragment (301, 301', 302, 302', 401) zugeordnet, wenn deren Inhalte innerhalb eines bestimmten Wertebereiches liegen, Werten bestimmter Defektfragmenteigenschaften ermittelt, benachbarte Defektfragmenten (301, 301', 302, 302', 401) einem Defekt zugeordnet, wenn diese vorbestimmte Abstands- und/oder Formzusammenhänge aufweisen, Werten bestimmter Defekteigenschaften ermittelt und der Defektes einer vordefinierten Defektklasse anhand der ermittelten Defektfragmenteigenschaftswerte und/oder der ermittelten Defekteigenschaftswerte zugeordnet.



Die oben angegebenen bibliographischen Daten entsprechen dem aktuellen Stand zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Berichtigung.

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

<b>US</b>	<b>6 947 588</b>	<b>B2</b>
<b>US</b>	<b>2006 / 0 239 536</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>5 991 699</b>	<b>A</b>
<b>WO</b>	<b>99/ 16 010</b>	<b>A1</b>

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Inspektionssystem, ein Inspektionsverfahren sowie ein Computerprogrammprodukt für die optische Untersuchung von Objektoberflächen, insbesondere von Waferoberflächen, auf Oberflächendefekte.

**[0002]** Das optische Inspektionsverfahren von Halbleiterwafern auf Defekte ist ein wichtiger Teil des Herstellungsprozesses von Computerchips. Die Inspektion umfasst sowohl die ebene Waferober- und -unterseite als auch dessen Kantenbereich. Die Ober- und Unterseiten und der Kantenbereich werden hierin unter Objektoberfläche oder Oberfläche zusammengefasst.

**[0003]** Das optische Inspektionssystem umfasst in der Regel eine Digitalkamera, eine Bildverarbeitungseinrichtung, eine Analyseeinrichtung und eine Auswerteeinrichtung. Zur Inspektion der Objektoberfläche wird ein Oberflächenbild erzeugt, welches elektronisch auf das Vorhandensein von Defekten überprüft wird. Werden Defekte aufgefunden, so werden diese mittels der (Defekt-)Analyseeinrichtung und der Auswerteeinrichtung vorher definierten Defektklassen zugeordnet.

**[0004]** Ein solches Verfahren zur Kanteninspektion eines Wafers ist in der Patentschrift US 6,947,588 B2 beschrieben. Hiernach wird ein Bild von einer Waferkante segmentweise auf hochfrequente Pixelanteile untersucht und bei überproportionalem Auftreten derselben auf einen Kantendefekt geschlossen. Solche Pixel werden dann zu Clustern zusammengefasst, welche wiederum nach statistischen Kriterien untersucht werden, um zu einer Klassifizierung zu gelangen.

**[0005]** Ein Inspektionssystem und -verfahren wird auch in der internationalen Patentanmeldung WO 99/16010 A1 vorgestellt, bei welchem Bilddaten abstrahiert in Form von Deskriptoren in einem Bedeutungsraum („semantic space“) mit Erfahrungswerten verglichen werden und anhand des Vergleichs eine Klassifizierung eines Defekts vorgenommen wird. Gleichzeitig wird eine Aussagewahrscheinlichkeit („confidence level“) erzeugt, die als Maß für die Zuverlässigkeit der Klassifizierung zur weiteren automatischen oder manuellen Auswertung ausgegeben werden kann.

**[0006]** In der Patentschrift US 5,991,699 wird ein Verfahren zur Klassifizierung von Defekten auf Objektoberflächen vorgestellt, bei dem die Defekte, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit dieselbe Ursache haben, zu Clustern zusammengefasst werden.

**[0007]** Ferner wird auf die Patentanmeldung US 2006/0239536 A1 verwiesen, in welcher ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Inspektion einer Waferoberfläche und zur Analyse von Defektdateien vorgestellt wird. Defekte werden anhand von Defektkoordinaten auf dem Wafer in Verteilungsmusterkategorien eingeteilt und erhalten entsprechende Verteilungsmusternummern zugeordnet. Anhand der Verteilungsmusternummern kann durch Vergleich mit Erfahrungswerten eine Aussage getroffen werden, was die Ursache dieses Defekts sein kann.

**[0008]** Insbesondere aus Kostengründen besteht ein großes Interesse daran, die Klassifizierung der Defekte so genau und effizient wie möglich zu gestalten. Auf diese Weise soll zuverlässig zwischen Defekten wie beispielsweise Partikel auf der Oberfläche, oberflächliche (Finger-)Abdrücke, Kratzer, Ausbrüche (Chip-Out) oder Risse, die sich auch in das Kristallgefüge fortpflanzen können, und somit letztlich zwischen solchen Defekten, die eine Verwertung des Wafers gar nicht oder zum Teil in Frage stellen oder gar vollständig ausschließen, unterschieden werden können.

**[0009]** Deshalb haben es sich die Erfinder zur Aufgabe gemacht, das Inspektionssystem bzw. das Inspektionsverfahren sowie das entsprechende Computerprogrammprodukt dahingehend zu verbessern, dass eine größtmögliche Sicherheit bei der Defekterkennung erzielt wird.

**[0010]** Die Aufgabe wird durch ein Inspektionssystem mit den Merkmalen des Anspruchs 1, ein Inspektionsverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 7 sowie ein Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des Anspruchs 17 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

**[0011]** Das Inspektionsverfahren sieht erfindungsgemäß die folgenden Schritte vor:

- Aufnehmen eines Bildes von der Objektoberfläche mittels einer Digitalkamera,
- Zuordnen zusammenhängender Bildpunkte in dem Bild zu einem Defektfragment, wenn deren Inhalte innerhalb eines bestimmten Wertebereiches liegen,
- Ermitteln von Werten bestimmter Defektfragmenteigenschaften,

- Zuordnen benachbarter Defektfragmenten zu einem Defekt, wenn diese vorbestimmte Abstands- und/oder Formzusammenhänge aufweisen,
- Ermitteln von Werten bestimmter Defekteigenschaften und
- Zuordnen des Defektes zu einer vordefinierten Defektklasse anhand der ermittelten Defektfragmenteigenschaftenwerte und/oder der ermittelten Defekteigenschaftenwerte.

**[0012]** Dementsprechend weist das Inspektionssystem die folgenden Merkmale auf:

- wenigstens eine Digitalkamera, eingerichtet zum Erzeugen eines digitalen Bildes der Objektoberfläche,
- eine erste Bildverarbeitungseinrichtung, eingerichtet zum Zuordnen zusammenhängender Bildpunkte in dem Bild zu einem Defektfragment, wenn deren Inhalte innerhalb eines bestimmten Wertebereiches liegen,
- eine erste Analyseeinrichtung, eingerichtet zum Ermitteln von Werten bestimmter Defektfragmenteigenschaften,
- eine zweite Bildverarbeitungseinrichtung, eingerichtet zum Zuordnen von benachbarten Defektfragmenten zu einem Defekt, wenn diese vorbestimmte Abstands- und/oder Formzusammenhänge aufweisen,
- eine zweite Analyseeinrichtung, eingerichtet zum Ermitteln von Werten bestimmter Defekteigenschaften und
- eine Auswerteeinrichtung, eingerichtet zum Zuordnen des Defektes zu einer vordefinierten Defektklasse anhand der ermittelten Defektfragmenteigenschaftenwerte und/oder der ermittelten Defekteigenschaftenwerte.

**[0013]** Ferner ist das erfindungsgemäße Computerprogrammprodukt eingerichtet, aus Bilddaten von der Objektoberfläche zusammenhängende Bildpunkte mit Inhalten innerhalb eines bestimmten Wertebereiches zu identifizieren und zu einem Defektfragment zusammenzufassen, Werte bestimmter Eigenschaften des Defektfragmentes zu ermitteln, benachbarten Defektfragmente mit vorbestimmten Abstands- und/oder Formzusammenhängen zu identifizieren und zu einem Defekt zusammenzufassen, Werte bestimmter Eigenschaften des Defektes zu ermitteln und den Defekt einer vordefinierten Defektklasse anhand der ermittelten Defektfragmenteigenschaftenwerte und/oder der ermittelten Defekteigenschaftenwerte zuzuordnen.

**[0014]** Die Verfahrensschritte der Bildverarbeitung (Zuordnen der Bildpunkte zu einem Defektfragment und Zuordnen benachbarter Defektfragmenten zu einem Defekt), der Defektanalyse (Ermitteln von Werten bestimmter Defektfragmenteigenschaften und Ermitteln von Werten bestimmter Defekteigenschaften) und der Auswertung (Zuordnen des Defektes zu einer vordefinierten Defektklasse) können einzeln oder gemeinsam sowohl als Software als auch als Hardware oder in Kombination aus Software und Hardware implementiert sein.

**[0015]** Neben den vorstehenden werden hierin ferner die nachfolgenden Begriffsdefinitionen verwendet, sofern sich nicht vereinzelt abweichende Bezeichnungen aus dem unmittelbaren Textzusammenhang ergeben:

- (Oberflächen-)Defekt  
physische Veränderung in oder auf der Oberfläche (einschließlich Fremdpartikel); der Begriff wird auch für das Bild derselben verwendet;
- (Defekt-)Fragment  
als zusammenhängend ermittelter Teil eines Defekts;
- (Defekt-/fragment-)Eigenschaft  
physikalisch messbare Größe des Defektes bzw. des Fragmentes (Bsp.: Ausdehnung, Aspektverhältnis, Rundheit, Flächenschwerpunkt, ...);
- (erweiterte) statistische Defekteigenschaft  
Defekteigenschaft, die sich aus der statistischen Untersuchung von Defektfragmenteigenschaften der einem Defekt zugeordneten Fragmente ableiten lassen;
- (Defekt-/fragment-)Eigenschaftswert  
der eine gemessene Eigenschaft repräsentierende Parameter;
- (Defekt-/fragment-)Eigenschaftsinformation  
auf einem Speichermedium beispielsweise in Form einer Tabelle oder eines Programmcodes hinterlegte Information zu einer Eigenschaft (Bsp.: Wertebereich für die Ausdehnung, Aspektverhältnis, Rundheit, Flächenschwerpunkt, ...);
- Defektklasse  
Zusammenfassung von Defekten, zu denen eine oder mehrere identischen Eigenschaftsinformationen hinterlegt sind;
- zwingende Kondition  
Eigenschaftsinformationen und/oder deren Verknüpfungen, welche für die Zuordnung eines Defektes zu einer Defektklasse zwingend eingehalten werden müssen;

- Eigenschaftswertverteilung  
Eigenschaftsinformation in Form einer Häufigkeitsverteilungsfunktion eines Eigenschaftswertes in einer Defektklasse;
- Eigenschaftswahrscheinlichkeit  
Funktionswert, ermittelt aus dem Eigenschaftswert und der Eigenschaftswertverteilung;
- Wahrscheinlichkeitswert  
Verknüpfung aller Eigenschaftswahrscheinlichkeiten eines Defektes in einer Defektklasse.

**[0016]** Die mittels der Digitalkamera erzeugten digitalen Bilder der Objektoberfläche lassen je nach Beleuchtungssituation bestimmte Defektmerkmale oder Eigenschaften erkennen, aufgrund derer der Defekt der vordefinierten Defektklasse zugeordnet werden kann. Die Erfinder haben erkannt, dass mit wachsender Anzahl der vordefinierten Eigenschaftsinformationen der Defektklassen das Risiko einer fehlerhaften Klassifizierung abnimmt. Sie haben ferner erkannt, dass ein Defekt in der Regel nicht als ein einzelnes zusammenhängendes Gebiet sondern als Ansammlung mehrerer Defektfragmente abgebildet wird. Die erfindungsgemäße Vorrichtung bzw. das erfindungsgemäße Verfahren sowie das Computerprogrammprodukt machen sich die in den Defektfragmenten liegenden Eigenschaften zuzüglich zu den Eigenschaften des gesamten Defektes zunutze, um die Zuordnungsgenauigkeit zu erhöhen.

**[0017]** Hierzu wird zunächst jedes Defektfragment mittels der ersten Bildverarbeitungseinrichtung identifiziert, indem zusammenhängende Bildpunkte, deren Inhalte (Intensitäts-, Grau- oder Farbwerte) innerhalb eines vorher festgelegten Wertebereiches (Intensitäts- Grauwert- oder Farbwertintervalls) liegen, demselben Defektfragment zugeordnet werden. Die geeigneten Intervallgrenzen werden unter anderem von der Beleuchtungstechnik (Hellfeld oder Dunkelfeld) während der Aufnahme abhängen und können beispielsweise manuell oder automatisch mittels Histogramm ermittelt bzw. festgelegt werden.

**[0018]** Die so ermittelten Defektfragmente weisen Eigenschaften auf, welche mittels der ersten Analyseeinrichtung analysiert werden, indem entsprechende Eigenschaftswerte aus der Bildinformation extrahiert werden. Hierzu werden zunächst die aussagekräftigsten Defektfragmenteigenschaften festgelegt oder bestimmt. Einige „bestimmte“ Defektfragmenteigenschaften, die sich zur Unterscheidung verschiedenartiger Defekte als nützlich erwiesen haben, sind der folgenden Tabelle 1 zusammengefasst. Die Aufzählung ist beispielhaft und nicht als abschließend zu verstehen. Auch mag es genügen, nur einige der aufgezählten Defektfragmenteigenschaften zu verwenden.

Tabelle 1: Defektfragmenteigenschaften

Eigenschaft	Beschreibung
Defect fragment area	Fläche des Fragmentes
Bounding area	Fläche des ummantelnden Rechtecks
Relation: Bounding to defect fragment area	Verhältnis der ummantelnden Rechteckfläche zur Fragmentfläche gemäß Formel 1
Unweight Centre of Mass	Flächenschwerpunkt des Defektfragmentes nicht gewichtet
Weight Centre of Mass	Flächenschwerpunkt gewichtet nach Bildpunkinhalt
Major axis	Hauptachse
Minor axis	Nebenachse
Aspect ratio	Aspektverhältnis von Hauptachse zur Nebenachse gemäß Formel 1
Orientation	Orientierung der Hauptachse
Mean	Mittelwert der Grauwertverteilung
Standard deviation	Standardabweichung der Grauwertverteilung
Ratio: Size X to size Y	Verhältnis der horizontalen zur vertikalen Ausdehnung gemäß Formel 1
Roundness	Rundheit des Fragmentes gemäß Formel 2

Smoothness	Weichheit der Umhüllung des Defektfragmentes gemäß den Formeln 3 und 4
Perimeter	Umfang der Umhüllung eines Defektfragmentes
Kurtosis	Kurtosis gemäß Formel 5
Skewness	Schiefe gemäß Formel 6

**[0019]** Jedes der obigen Verhältnisse zweier Werte a und b wird dabei wie folgt berechnet:

$$\text{Verhältnis} = \frac{a-b}{a+b} \quad \text{Formel 1}$$

**[0020]** Die Rundheit wird wie folgt berechnet:

$$\text{Rundheit} = \frac{\text{Umfang}^2}{\text{Fläche}} \quad \text{Formel 2}$$

**[0021]** Der Berechnung der Weichheit ist das Berechnen der Konturenergie vorangestellt. Die Konturenergie ist ein Maß für die „Unruhe“ der Kontur. Zur Berechnung wird über die Richtungsänderungen der Verbindungsstrecken aufeinander folgender Konturpunkte aufsummiert, wobei der Beitrag zur Konturenergie umso größer ist, je spitzer der zwischen den Verbindungsstrecken eingeschlossene Winkel ist:

$$\text{Konturenergie} = \sum_{n=1}^N \left[ \left( (X_{n-1} - X_n) - (X_n - X_{n+1}) \right)^2 + \left( (Y_{n-1} - Y_n) - (Y_n - Y_{n+1}) \right)^2 \right] \quad \text{Formel 3}$$

**[0022]** Hierin sind  $X_n, Y_n$  die Koordinaten des n-ten Konturpunktes und N ist die Anzahl der Konturpunkte.

**[0023]** Die Weichheit ist die Konturenergie normiert über den Umfang:

$$\text{Weichheit} = \frac{\text{Konturenergie}}{\text{Umfang}^2} \quad \text{Formel 4}$$

**[0024]** Kurtosis und Schiefe („Skewness“) sind aus der Statistik bekannte Größen und berechnen nach folgenden Formeln:

$$\text{Kurtosis} = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3, \quad \text{Formel 5}$$

$$\text{Skewness} = \frac{\mu_3}{\sigma^3}, \quad \text{Formel 6}$$

mit dem dritten bzw. vierten Moment der Verteilung  $\mu_3 = E(x - \mu)^3$  bzw.  $\mu_4 = E(x - \mu)^4$  (E: Erwartungswert,  $\mu$ : Mittelwert und x: Funktionswert) und der Standardabweichung  $\sigma$ .

**[0025]** Die Berechnungen repräsentieren die genannten Eigenschaften nur beispielhaft und können in dem einen oder anderen Fall durch ähnliche Formeln ersetzt werden.

**[0026]** Zusätzlich zu den Defektfragmenteigenschaften werden zur Klassifizierung des Defektes ferner die Defekteigenschaften herangezogen. Hierzu muss zunächst festgelegt werden, welche Defektfragmente einem einzigen Defekt zuzuordnen sind. Die zweite Bildverarbeitungseinrichtung nimmt eine solche Zuordnung vor, wenn die Defektfragmente vorbestimmte Abstands- und/oder Formzusammenhänge aufweisen, wie anhand der Figurenbeschreibung weiter unten näher erläutert wird. Die so ermittelten Defekte haben ihrerseits Eigenschaften, von denen einige hinsichtlich der Klassifikation des Defektes aussagekräftig sind. Die Werte der aus diesem Grund festgelegten oder „bestimmten“ Eigenschaften werden mittels der zweiten Analyseeinrichtung aus der Bildinformation gewonnen. Einige Defekteigenschaften, die sich zur Unterscheidung verschiedenartiger Defekte als nützlich erwiesen haben, sind nachfolgender Tabelle 2 zu entnehmen. Auch diese Aufzählung ist beispielhaft und nicht als abschließend zu verstehen. Auch mag es genügen, nur einige der aufgezählten Defektfragmenteigenschaften zu verwenden.

Tabelle 2: Defekteigenschaften aus der Umhüllung

Eigenschaft	Beschreibung
Defect Area	Defektfläche
Defect perimeter	Defektumfang
Bounding area	Fläche des ummantelnden Rechtecks
Relation: Bounding to Defect area	Verhältnis der ummantelnden Rechteckfläche zur Defektfläche gemäß Formel 1
Centre of Mass (weight & unweight)	Flächenschwerpunkt
Major axis	Hauptachse
Minor axis	Nebenachse
Relation: Major axis to minor axis	Verhältnis von Hauptachse zur Nebenachse gemäß Formel 1
Orientation	Orientierung der Hauptachse.
Relation: Size X to size Y	Verhältnis der horizontalen zur vertikalen Ausdehnung gemäß Formel 1

**[0027]** Schon die Summe der Defektfragmenteigenschaften und der Defekteigenschaften ergeben mehr Anhaltspunkte für die Klassifizierung als nach den bislang bekannten Verfahren und somit eine höhere Treffsicherheit des nachfolgenden Zuordnungsschrittes des Defektes zu einer der vordefinierten Defektklassen. Dabei kann es gleichwohl genügen für eine eindeutige Zuordnung einzelner Defekte zu einer definierten Defektklasse nur ermittelte Defektfragmenteigenschaftswerte oder nur ermittelte Defekteigenschaftswerte heranzuziehen.

**[0028]** Eine vorteilhafte Weiterbildung des Verfahrens sieht vor, dass Eigenschaftsinformationen über die bestimmten Defektfragmenteigenschaften und die bestimmten Defekteigenschaften in einer Speichereinrichtung, die der Auswerteeinrichtung zuzuordnen ist, hinterlegt und den vordefinierten Defektklassen zugeordnet sind. Das Hinterlegen kann in Tabellenform, in Form einer Konfigurationsdatei oder in Form eines Programmcodes implementiert sein.

**[0029]** Die Eigenschaftsinformation lässt sich beispielsweise in Form eines Eigenschaftsnamens, eines Minimalwertes und eines Maximalwertes definieren und auf der Speichereinrichtung hinterlegen. So definierte Eigenschaftsinformationen, insbesondere zwingende Konditionen, können darüber hinaus mit einer Boole'schen Gleichung kombiniert werden, d. h. es kann beispielsweise gefordert werden, dass eine beliebige Anzahl von Konditionen gleichzeitig, und/oder alternativ und/oder bedingt erfüllt sind. Die Eigenschaftsinformation, insbesondere die Eigenschaftswertverteilung, kann beispielsweise auch in Form eines Eigenschaftsnamens, eines Durchschnittswertes und einer Standardabweichung hinterlegt werden. Allgemeiner kann die Eigenschaftswertverteilung auch in Form einer beliebigen analytischen Verteilungsfunktion oder einer Wertetabelle hinterlegt sein.

**[0030]** Auf die eine oder andere Weise können eine oder mehrere verschiedene Defektklassen definiert werden. Die ermittelten Defektfragmenteigenschaftswerte werden dann erfindungsgemäß mit den hinterlegten Defektfragmenteigenschaftsinformationen und/oder die ermittelten Defekteigenschaftswerte mit den hinterlegten Defekteigenschaftsinformationen verglichen. Anhand dieses Vergleiches wird über die Zuordnung des Defektes zu der so definierten Defektklasse entschieden.

**[0031]** Das Vergleichen der Eigenschaftsinformationen mit den ermittelten Eigenschaftswerten wird mittels einer Vergleichseinrichtung durchgeführt, die ebenfalls der Auswerteeinrichtung zuzuordnen ist. Es geschieht vorzugsweise in einer vorgegebenen Reihenfolge Defektklasse für Defektklasse nacheinander.

**[0032]** Die Anzahl der für eine Defektklasse hinterlegten Eigenschaftsinformationen ist grundsätzlich nicht festgelegt und kann je nachdem variieren, welche und wie viele Eigenschaften die Defektklasse am besten abbilden. Das erfindungsgemäße System der Defektklassendefinition ermöglicht somit ein hohes Maß an Flexibilität und Anpassungsfähigkeit, welche beispielsweise eine individuelle Anpassung der Klassifizierungseinrichtung an die Anforderungen eines Chip- oder Waferherstellers erlauben.

**[0033]** Die von der Auswerteeinrichtung erlangte Zuordnungsinformation kann anschließend beispielsweise auf geeignete Weise einem Operator zur Anzeige gebracht oder an eine dem Inspektionssystem nachgeschalteten Sortiermaschine weitergegeben werden, der oder die den Wafer entsprechend einem vorgegebenen „Grading“ sortiert.

**[0034]** Bevorzugt wird zu jedem Defektfragment in der ersten Bildverarbeitungseinrichtung ein Fragmentrand ermittelt und aus dem Fragmentrand werden in der ersten Analyseeinrichtung Werte geometrischer Defektfragmenteigenschaften ermittelt.

**[0035]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung können zusätzlich oder alternativ bestimmte Defektfragmenteigenschaften anhand von Bildpunktinhalten (Intensitäts-, Grauwert- oder Farbinformationen) ermittelt werden. Dies geschieht ebenfalls in der hierzu eingerichteten ersten Analyseeinrichtung.

**[0036]** Vorteilhaft ist ferner die zweite Bildverarbeitungseinrichtung eingerichtet, zu jedem Defekt einen Defektrand zu ermitteln, und die zweite Analyseeinrichtung eingerichtet, aus dem Defektrand Werte geometrischer Defekteigenschaften zu ermitteln. Ganz analog der Auswertung geometrischer Defektfragmenteigenschaften können so auf einfache Weise auch geometrische Defekteigenschaften ausgewertet werden.

**[0037]** Alternativ oder zusätzlich ist gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung eine dritte Analyseeinrichtung vorgesehen, die eingerichtet ist, Werte bestimmter statistischer Defekteigenschaften aus allen einem Defekt zugeordneten Defektfragmenten gegebenenfalls in Verbindung mit den ermittelten Defektfragmenteigenschaftswerten zu ermitteln.

**[0038]** Diese auch als erweiterte Defekteigenschaften bezeichneten statistischen Eigenschaftswerte (beispielsweise Mittelwerte oder Summen) werden aus einer Kombination der Defektfragmenteigenschaften der demselben Defekt zugeordneten Fragmente abgeleitet. Sie resultieren aus der inneren Struktur des Defektes und beinhalten daher über die beispielhaft in Tabelle 2 genannten Defekteigenschaften hinaus aussagekräftige Informationen. Als erweiterte Defekteigenschaften gemäß dieser Weiterbildung der Erfindung lassen sich unter anderem die folgenden in Tabelle 3 genannten Eigenschaften nennen.

Tabelle 3: Erweiterte Defekteigenschaften

Eigenschaft	Beschreibung
Number of defect fragments	Anzahl der Defektfragmente innerhalb des Defektes.
Sum of defect fragment area	Summation der Defektfragmentflächen.
Sum of defect fragment perimeter	Summation der Defektfragmentumfänge
Relation: Defect perimeter to sum of fragment perimeter	Verhältnis des Defektesumfangs zum aufsummierten Umfange der Defektfragmente gemäß Formel 1
AverageStdev	Gemittelte Standardabweichung der Defektfragmente gemäß Formel 7
Average Smoothness	Gemittelte Weichheit der Defektfragmente gemäß Formel 8
Average Roundness	Gemittelte Rundheit der Defektfragmente gemäß Formel 9
Average Kurtosis	Gemittelte Kurtosis der Defektfragmente gemäß Formel 10
Average Skewness	Gemittelte Skewness der Defektfragmente gemäß Formel 11

**[0039]** Eine Berechnung der Eigenschaftswerte erfolgt nach den folgenden Formeln:

$$AverageStdev = \frac{1}{\sum_{n=1}^N FA_n} * \sum_{n=1}^N (FA_n * FSTD_n),$$

Formel 7

$$AverageSmoothness = \frac{1}{\sum_{n=1}^N FA_n} * \sum_{n=1}^N (FA_n * FSN_n),$$

Formel 8

$$AverageRoundness = \frac{1}{\sum_{n=1}^N FA_n} * \sum_{n=1}^N (FA_n * FRN_n),$$

Formel 9

$$AverageKurtosis = \frac{1}{\sum_{n=1}^N FA_n} * \sum_{n=1}^N (FA_n * FKS_n),$$

Formel 10

$$AverageSkewness = \frac{1}{\sum_{n=1}^N FA_n} * \sum_{n=1}^N (FA_n * FSK_n),$$

Formel 11

mit der Anzahl N der Fragmente, der Fragmentfläche  $FA_n$ , der Standardabweichung der Inhalts-(Intensitäts-, Grauwert-)verteilung  $FSTD_n$ , der Weichheit  $FSN_n$ , der Rundheit  $FRN_n$ , der Kurtosis  $FKS_n$  und der Skewness  $FSK_n$  jeweils des n-ten Fragments.

**[0040]** Die Werte der erweiterten Defekteigenschaften werden zusammen mit den Werten der beispielhaft in Tabelle 2 genannten Defekteigenschaften den ermittelten Defekteigenschaftswerten zugerechnet und der Auswerteeinrichtung zum Zuordnen des Defektes zu einer vordefinierten Defektklasse zugeführt.

**[0041]** Das Inspektionsverfahren sieht in einer vorteilhaften Weiterbildung ferner vor, dass ein Dunkelfeldbild der Objektoberfläche und/oder ein Hellfeldbild der Objektoberfläche aufgenommen werden.

**[0042]** Aufgrund der unterschiedlichen Beleuchtungsverfahren wird eine größere Anzahl von Bildinformationen gewonnen, was in der Regel zu einer größeren Anzahl von identifizierten Defektfragmenten je Defekt führt. Die Defektfragmente werden dabei bevorzugt separat einerseits im Hellfeldbild und andererseits im Dunkelfeldbild durch Zuordnen jeweils zusammenhängender Bildpunkte ermittelt. Die so ermittelten separaten Defektfragmente aus dem Hellfeldbild und dem Dunkelfeldbild werden vorteilhafter Weise anschließend zusammengeführt, wobei das Zuordnen benachbarter Defektfragmente zu einem Defekt in der Menge der zusammengeführten Defektfragmente erfolgt. Auf diese Weise ergibt sich ein Bild des Defektes mit höherer Informationsdichte, was wiederum die Zuordnungsgenauigkeit des Defektes zu einer vordefinierten Defektklasse erhöht.

**[0043]** Weitere Aufgaben, Merkmale und Vorteile der Erfindung werden nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels mit Hilfe der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

**[0044]** [Fig. 1](#) eine schematisch vereinfachte Darstellung des erfindungsgemäßen Inspektionssystems;

**[0045]** [Fig. 2](#) eine Seitenansicht eines Messsystems zur Erzeugung eines Waferkantenbildes;

**[0046]** [Fig. 3A](#) eine erste Darstellung der Zuordnung benachbarter Defektfragmente anhand von Abstandszusammenhängen;

**[0047]** [Fig. 3B](#) eine zweite Darstellung der Zuordnung von benachbarten Defektfragmenten anhand von Formzusammenhängen;

- [0048] [Fig. 4](#) eine Darstellung eines nach dem erfindungsgemäßen Verfahren ermittelten virtuellen Defektbildes;
- [0049] [Fig. 5](#) ein Ablaufdiagramm einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Inspektionsverfahrens;
- [0050] [Fig. 6](#) ein Ablaufdiagramm einer Ausführungsform des Zuordnungsschrittes des Defektes zu einer vordefinierten Defektklasse (Vergleich);
- [0051] [Fig. 7](#) ein beispielhaftes Diagramm zweier Eigenschaftswertverteilungen unterschiedlicher Defektklassen und
- [0052] [Fig. 8](#) ein Ablaufdiagramm einer Ausführungsform des Klassifikationsschrittes.
- [0053] [Fig. 1](#) gibt eine Übersicht über die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren ausgeführten Schritte sowie die Merkmale des erfindungsgemäßen Inspektionssystems in einer schematisierten Darstellung. Demgemäß werden mittels einer Digitalkamera **101** eines oder mehrere Bilder von der Objektoberfläche erzeugt. Mit der Digitalkamera verbunden sind Bildverarbeitungseinrichtungen **102**, genauer eine erste und wenigstens eine zweite Bildverarbeitungseinrichtung **102**, die die Bilddaten von der Digitalkamera erhalten und einerseits zusammenhängende Bildpunkte in dem Bild einem Defektfragment und andererseits benachbarte Defektfragmente einem Defekt zuordnen. Die so gewonnene Bildinformation wird an eine Analyseeinrichtung **103**, genauer eine erste und wenigstens eine zweite Defektanalyseeinrichtung, weitergeben. Dort wird die erste und wenigstens die zweite Analyse ausgeführt, wobei die Bildverarbeitung und die Defektanalyse nicht streng aufeinander folgend abgearbeitet werden müssen, sondern auch ineinander greifend zuerst die erste Defektanalyse auf die erste Bildverarbeitung und anschließend die zweite Defektanalyse auf die zweite Bildverarbeitung, usw., folgen kann. Auch können diese Prozessschritte teilweise parallel ausgeführt werden. Die Ergebnisse der Defektanalyse, also die Eigenschaftswerte der Defekte und Defektfragmente, werden an die mit der Defektanalyseeinrichtung **103** verbundene Auswerteeinrichtung **104** weitergegeben, wo der Defekt einer vordefinierten Defektklasse anhand der ermittelten Defektfragmenteigenschaftswerte und der ermittelten Defekteigenschaftswerte zugeordnet wird. Die Auswerteeinrichtung **104** ist ihrerseits in eine mit der Defektanalyseeinrichtung **103** verbundene Vergleichseinrichtung **105** und ein mit der Vergleichseinrichtung **105** verbundenes Klassifizierungsmittel **106** unterteilt und weist ferner eine Speichereinrichtung **107**, auf die die Vergleichseinrichtung **105** zugreift.
- [0054] Die Vergleichseinrichtung **105** kann aus mehreren einzelnen Vergleichseinrichtungen bestehen, deren Funktionen aus den Erläuterungen zu [Fig. 6](#) ersichtlich werden. Ebenso wird aus der nachfolgenden Beschreibung ersichtlich, dass auch die Abfolge der Schritte des Vergleiches und der Klassifizierung nicht streng nacheinander ausgeführt werden müssen, sondern mittels Indizes oder Flags Sprunganweisungen ausgelöst werden können, die die Klassifizierung vorziehen und den Vergleich vorzeitig beenden.
- [0055] Beispielhaft ist in [Fig. 2](#) ein Messsystem zur Kanteninspektion eines Halbleiterwafers **201** dargestellt. Der Wafer **201** liegt auf einem Drehtisch **200** auf, welcher motorisch, vorzugsweise mittels Schrittmotor, angetrieben ist und den Wafer **201** während der Messung in Rotation versetzt. Das Messsystem weist ferner eine obere und eine untere Bilderzeugungseinrichtung **210** bzw. **220** in symmetrischer Anordnung bezüglich der Mittelebene E des Wafers **201** auf. Beide Bilderzeugungseinrichtungen verfügen jeweils über eine Digitalkamera **212** bzw. **222**, eine Beleuchtungseinrichtung **214** bzw. **224** zur Erzeugung einer Hellfeldbeleuchtung sowie einer Beleuchtungseinrichtung **216** bzw. **226** zur Erzeugung einer Dunkelfeldbeleuchtung des oberen bzw. des unteren Kantenabschnittes des Wafers **201**. Zu den Beleuchtungseinrichtungen **214** bzw. **224** für die Hellfeldbeleuchtung ist ferner jeweils ein Umlenkspiegel **218** bzw. **228** zu zählen. Die Anordnung der Beleuchtungseinrichtungen und der Digitalkameras ist ebenso wie die Darstellung des Kantenbereichs des Wafers **201** nur als schematische Vereinfachung zu verstehen. Zur Erzeugung einer gleichmäßigen Hellfeld- und Dunkelfeldbeleuchtung der Objektkante können beispielsweise die Objektkante bogenförmig umspannende Hell- und Dunkelfeldbeleuchtungseinrichtungen vorgesehen sein. Die obere und untere Kamera **212**, **222** sowie die jeweils zugeordneten Beleuchtungssysteme **214**, **216**, **218**, **224**, **226**, **228** können aus Platzgründen in Umfangsrichtung versetzt angeordnet sein.
- [0056] Die obere Digitalkamera **212** erfasst einen Teil der Oberseite **230** des Wafers **201**, den oberen Kantenbereich oder Bevel **232** und wenigstens einen Teil des stirnseitigen Kantenbereichs oder Apex **234**. Die untere Digitalkamera **222** erfasst entsprechend einen Teil der ebenen Unterseite **236** des Wafers **201**, den unteren Kantenbereich oder Bevel **238** sowie ebenfalls zumindest einen Teil des stirnseitigen Kantenbereichs oder Apex **234**.

**[0057]** Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass die Erfindung nicht auf die Kanteninspektion beschränkt ist, sondern uneingeschränkt auch auf die Inspektion der ebenen Ober- bzw. Unterseite **230** bzw. **236** des Wafers **201** anwendbar ist. Zusammen mit einer entsprechenden Bilderfassungseinrichtung für die ebene Oberseite **230** und die ebene Unterseite **236** kann eine lückenlose Inspektion der Oberfläche des gesamten Wafers **201** erfolgen.

**[0058]** Die beiden Digitalkameras **212** und **222** sind vorzugsweise Zeilenkameras, deren Bildzeile in einer vertikalen Ebene zur Waferenebene E, d. h. radial zum Wafer **201** liegt. Ein umlaufendes Kantenbild wird durch Rotation des Wafers **201** um seine Mittelachse A erzeugt, wobei bei Einsatz eines Schrittmotors vorzugsweise nach jedem Schritt jeweils entweder ein oder zwei Zeilenbilder von der Ober- und Unterkante des Wafers **201** unter Hell- bzw. Dunkelfeldbeleuchtung aufgenommen wird. Das heißt, die Kantenbilder unter Hell- bzw. Dunkelfeldbeleuchtung können nacheinander in zwei Umläufen oder schrittweise nacheinander aufgenommen werden. Die Zeilenbilder werden anschließend zu einem Panoramabild der Waferkante (nachfolgend Kantenbild) zusammengesetzt. Mittels eines solchen Messsystems werden also mindestens vier Kantenbilder erzeugt. In jedem Kantenbild werden die Notch des Wafers (nicht dargestellt) und die Waferkante mittels geeigneter Bildverarbeitungsverfahren erkannt und können zueinander ausgerichtet werden. Die Kantenbilder aus der oberen Digitalkamera **212** und der unteren Digitalkamera **222** können dann mittels der Bildverarbeitungseinrichtung zu einem Gesamtbild der Waferkante zusammengefügt werden.

**[0059]** In den **Fig. 3A** und **Fig. 3B** ist anhand zweier beispielhaft ausgewählter Kriterien das Zuordnen zweier Defektfragmente zu einem Defekt illustriert. Gemäß **Fig. 3A** werden zwei Defektfragmente **301** und **302** anhand von festgelegten Abstandskriterien auf Zugehörigkeit zu demselben Defekt untersucht. Hierbei wird der projizierte Abstand **305** aus dem projizierten Vertikalabstand **303** und dem projizierten Horizontalabstand **304** ermittelt. Die Zuordnung zu einem gemeinsamen Defekt erfolgt dann, wenn der so projizierte Abstand kleiner als ein vordefinierter Grenzwert ist.

**[0060]** Gemäß **Fig. 3B** werden die Fragmente einer Formanalyse unterzogen, wobei eine „Anziehungskraft“ zwischen zwei Fragmenten **301'** und **302'** ermittelt wird. Eine hohe Anziehungskraft liegt dann vor, wenn die Abstände, vorzugsweise der minimale Abstand **303'**, zwischen den Defekträndern gering sind und eine hohe Anzahl paralleler Tangenten **304'**, **305'** vorliegen. Die Anziehungskraft kann gemäß folgender Formel berechnet werden:

$$f_{i,j} = \oint_{L_i} \oint_{L_j} \frac{\vec{t}_i(l_i) \cdot \vec{t}_j(l_j)}{r^2(l_i, l_j)} \cdot dl_j \cdot dl_i \quad \text{Formel 12}$$

**[0061]** Mit den folgenden Platzhaltern:

i:	Defektfragment i
j	Defektfragment j
$l_{i,j}$ :	Konturpunkt
$\vec{t}_i(l_i)$ :	Tangentenvektor des Konturpunktes l von Defektfragment i
$\vec{t}_j(l_j)$ :	Tangentenvektor des Konturpunktes l von Defektfragment j
$r(l_i, l_j)$ :	Abstand der Konturpunkte l von Defektfragment i zu j

$$\oint_{L_i} dl_i :$$

Umlaufintegral über alle Konturpunkte  $l_i = 1 \dots L_i$  von Defektfragment i

$$\oint_{L_j} dl_j :$$

Umlaufintegral über alle Konturpunkte  $l_j = 1 \dots L_j$  von Defektfragment j

**[0062]** **Fig. 4** zeigt das virtuelle Ergebnis einer solchen Zuordnung mehrerer Defektfragmente **401** zu einem Defekt, der durch einen einhüllenden Defektrand **410** eingegrenzt ist.

**[0063]** Das unter Bezugnahme auf [Fig. 1](#) andeutungsweise beschriebene Verfahren wird anhand von [Fig. 5](#) näher erläutert. Mittels der ersten Bildverarbeitungseinrichtung (auch „defect tracer“ genannt) werden in jedem (Kanten-)Bild zusammenhängende Bildpunkte, deren Inhalte innerhalb eines bestimmten Wertebereiches liegen, in Schritt **501** identifiziert und einem Defektfragment zugeordnet. Der Wertebereich ist jeweils abhängig von dem eingesetzten Beleuchtungssystem und muss dementsprechend manuell oder automatisch festgelegt werden.

**[0064]** Die so aufgefundenen Defektfragmente werden mittels der zweiten Bildverarbeitungseinrichtung in Schritt **502** einem Defekt zugeordnet, wenn diese vorbestimmte Abstands- und/oder Formzusammenhänge aufweisen. Die Zuordnung benachbarter Defektfragmente zu einem Defekt erfolgt vorzugsweise über die Menge aller Defektfragmente, also der Defektfragmente, die aus allen (vier) Kantenaufnahmen gewonnen wurden, um eine möglichst lückenlose Darstellung des gesamten Defekts aus der Summe der Hell- als auch aus Dunkelfeldfragmenten zu erzielen. Das Zusammenfassen der Defektfragmente im virtuellen Bild hat deutliche Vorteile gegenüber einem Zusammenfassen der Fragmente in den individuellen Hell- oder Dunkelfeldaufnahmen. Im zusammengefassten virtuellen Bild ist die Einheit eines Defekts aufgrund der verschiedenen optischen Belichtungsmethoden nämlich erheblich besser erkennbar.

**[0065]** Der gesamte Defekt wird dann mittels der zweiten Analyseeinrichtung in Schritt **503** auf das Vorliegen bestimmter Defekteigenschaften hin untersucht. Genauer gesagt werden die Werte vorher bestimmter Defekteigenschaften in diesem Schritt ermittelt.

**[0066]** Im Grunde parallel zu den schritten **502** und **503** werden die Defektfragmente mittel der ersten Analyseeinrichtung in Schritt **505** auf das Vorliegen bestimmter Defektfragmenteigenschaften hin untersucht. Genauer gesagt werden die Werte vorher bestimmter Defektfragmenteigenschaften in diesem Schritt ermittelt.

**[0067]** Anschließend werden die Defektfragmente mittels einer dritten Analyseeinrichtung in Schritt **507** einer weiteren Analyse hinsichtlich der oben genannten erweiterten Defekteigenschaften unterzogen. Hierbei werden nur solche Defektfragmente gemeinschaftlich untersucht, welche einem gemeinsamen Defekt zugeordnet wurden. In diesem Schritt werden statistische Werte (beispielsweise durch Mittelwert- oder Summenbildung oder andere Verknüpfungen von Defektfragmenteigenschaftswerten) hergeleitet.

**[0068]** In einem letzten Schritt **509** wird mittels einer Auswerteeinrichtung anhand eines Vergleichs der ermittelten Defektfragmenteigenschaftswerte und der ermittelten Defekteigenschaftswerte (einschließlich der erweiterten Defekteigenschaftswerte) mit hinterlegten Defekteigenschaftsinformationen bzw. Defektfragmenteigenschaftsinformationen, der Defekt einer vordefinierten Defektklasse zugeordnet. Dieser Vorgang der Klassifizierung wird nachfolgend anhand der [Fig. 6](#) bis [Fig. 8](#) erläutert.

**[0069]** Bei der Erläuterung der Auswertung oder Zugehörigkeitsprüfung der mittels der Analyseeinrichtungen gewonnenen Eigenschaftswerte anhand von [Fig. 6](#) wird nicht zwischen den Defekteigenschaftswerten und Defektfragmenteigenschaftswerten unterschieden. Die Zugehörigkeitsprüfung bezüglich einer (beliebigen) Defektklasse beginnt bei **601** mit den Eingangsparametern, die von der Analyseeinrichtung übergeben werden. In Schritt **602** erfolgt zunächst eine Abfrage, ob der untersuchte Defekt bereits einer anderen Defektklasse zugeordnet wurde. Wenn dies zutrifft, können sämtliche nachfolgenden Schritte der Auswertung für die aktuell untersuchte Defektklasse übersprungen werden.

**[0070]** Hat noch keine Klassifizierung stattgefunden, wird in Schritt **603** zunächst abgefragt, ob zu der aktuell untersuchten Defektklasse zwingende Konditionen, d. h. also Eigenschaftsinformationen und/oder deren Verknüpfungen, welche für die Zuordnung des Defektes zu dieser Defektklasse zwingend eingehalten werden müssen, (vorzugsweise in einer Speichereinrichtung in tabellarischer Form oder implementiert in einem Programmcode) hinterlegt sind. Sind solche zwingende Konditionen vorhanden, dann folgt in Schritt **604** mittels einer ersten Vergleichseinrichtung eine Prüfung der ermittelten Defekteigenschaftswerte auf Erfüllung der zwingenden Konditionen. In Schritt **605** findet darauf hin eine Fallunterscheidung statt. Ergibt der Vergleich, dass die zwingenden Konditionen nicht allesamt erfüllt sind, findet keine weitere Abfrage/Auswertung bezüglich dieser Defektklasse statt und der Defekt wird dieser Klasse nicht zugeordnet.

**[0071]** Sind die zwingenden Konditionen indes erfüllt, findet in Schritt **606** erneut eine Fallunterscheidung statt. Ist für die vorliegend untersuchte Defektklasse keine Eigenschaftswertverteilung hinterlegt, so wird in Schritt **607** ein Klassifikationsflag ausgegeben, mit welchem die Zugehörigkeit des Defekts zu der vorliegend untersuchten Defektklasse bejaht wird. Ein solcher Klassifikationsflag bewirkt bei der Prüfung bezüglich der nächsten Defektklasse, dass eingangs in dem Abfrageschritt **602** alle nachfolgenden Prüfschritte übersprungen

werden können und das Prüfungsverfahren insgesamt abgekürzt wird. Alternativ zu der in [Fig. 6](#) dargestellten Auswertung kann das Klassifikationsflag aus Schritt **607**, auch so eingesetzt werden, dass ein Sprungbefehl unmittelbar an das Ende der Zugehörigkeitsprüfung aller Defektklassen erteilt wird.

**[0072]** Ergibt die Abfrage in Schritt **606**, dass eine Eigenschaftswertverteilung, also eine Eigenschaftsinformation in Form einer Häufigkeitsverteilungsfunktion des Eigenschaftswertes, zu dieser Defektklasse hinterlegt ist, dann werden in Schritt **610** in einer zweiten Vergleichseinrichtung die ermittelten Defekteigenschaftswerte mit den hinterlegten Eigenschaftswertverteilungen verglichen und in Schritt **611** ein entsprechender Wahrscheinlichkeitswert, der die Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen eines Defekts dieser Defektklasse repräsentiert, ausgegeben. Eine solche Häufigkeitsverteilungsfunktion kann empirisch ermittelt und vorzugsweise abermals in einem Speichermittel in funktionaler oder tabellarischer Form hinterlegt werden. Der Vergleich bzw. die Auswertung in Schritt **610** erfolgt dergestalt, dass in jede der für die aktuell geprüfte Defektklasse hinterlegten Eigenschaftswertverteilungen der entsprechende ermittelte Defekteigenschaftswert einsetzt und der zugehörige Funktionswert (die Eigenschaftswahrscheinlichkeiten) abgerufen wird. Sind mehrere Eigenschaftswertverteilungen für eine Defektklasse hinterlegt, so erhält man in dem Auswerteschritt **610** mehrere Eigenschaftswahrscheinlichkeiten, welche in Schritt **611** zu einem gesamten Wahrscheinlichkeitswert verknüpft werden. Die Verknüpfung ist vorzugsweise eine Multiplikation oder Mittelwertbildung der einzelnen Eigenschaftswahrscheinlichkeiten.

**[0073]** Der Vollständigkeit halber sei noch der Fall erwähnt, in dem für eine Defektklasse keine zwingenden Konditionen hinterlegt sind. In diesem Fall führt nach Abfrage in Schritt **603** die weitere Zuordnung unmittelbar zu der Abfrage in Schritt **609**, ob eine oder mehrere Eigenschaftswertverteilungen für diese Defektklasse hinterlegt sind. Ist auch dies nicht der Fall, findet keinerlei Klassifikation statt und es wird zur Prüfung der nächsten Defektklasse übergegangen. Ist eine Eigenschaftswertverteilung hinterlegt, so führt dies abermals zum Vergleich der ermittelten Defekteigenschaftswerte mit den hinterlegten Eigenschaftswertverteilungen in der zweiten Vergleichseinrichtung in Schritt **610**.

**[0074]** Die in [Fig. 6](#) dargestellte Zugehörigkeitsprüfung führt für jede Defektklasse zusammengefasst zu einem der drei folgenden Ergebnisse:

- ein Defekt wird der untersuchten Defektklasse in Schritt **607** eindeutig zugeordnet und somit klassifiziert,
- der Defekt bleibt unklassifiziert, wenn er bereits in einem vorausgegangenen Vergleich mit einer anderen Defektklasse klassifiziert wurde (Schritt **602**) oder wenn in den Schritten **604** und **605** festgestellt wird, dass wenigstens eine der zwingenden Konditionen nicht erfüllt ist, oder wenn in den Schritten **603** und **609** festgestellt wird, dass zu dieser Defektklasse weder zwingende Konditionen noch Eigenschaftswertverteilungen hinterlegt sind (dieser Fall ist defektunabhängig und führt in jedem Fall dazu, dass der Defektklasse kein Defekt zugeordnet werden kann)
- dem Defekt wird für die untersuchte Defektklasse ein Wahrscheinlichkeitswert zugeordnet.

**[0075]** In [Fig. 8](#) sind vier Zugehörigkeitsprüfungen der zuvor beschriebenen Art kaskadiert hintereinander für vier beispielhafte Defektklassen (Partikel, Kratzer, Ausbruch, Flächendefekt) dargestellt. Neben den genannten Defektklassen sind selbstverständlich auch weitere Klassifikationen möglich. Es kann beispielsweise zwischen feineren und gröberen Partikeln (Staub und Splitter) unterschieden werden. Flächendefekt können ferner in Welligkeiten, Inhomogenitäten, Rauigkeiten oder Abdrücke unterteilt werden, etc.

**[0076]** An die Zugehörigkeitsprüfungen aller Defektklassen mittels der Auswerteeinrichtungen schließt sich die anhand von [Fig. 8](#) erläuterte eigentliche Klassifizierung durch ein Klassifizierungsmittel an. Eine Fallunterscheidung in Schritt **806** sorgt für eine sofortige Beendigung der Klassifizierung, wenn der Defekt einer untersuchten Defektklasse in Schritt **607** bereits eindeutig zugeordnet und somit klassifiziert wurde. Dies kann anhand des Klassifikationsflags festgestellt werden. Ist dies nicht der Fall, wird abermals eine Fallunterscheidung in Schritt **808** dahingehend getroffen, ob Wahrscheinlichkeitswerte in den Schritten **610** und **611** für wenigstens eine der Defektklassen ausgegeben wurden. Ist dies nicht der Fall, dann wird der Defekt einer vorgegebenen Defektklasse zugeordnet (Default). Die Klassifikation ist danach beendet. Die Schritte **808** und **810** sind allerdings optional. Auf Schritt **808** kann verzichtet werden, wenn sichergestellt ist, dass zu jeder vordefinierten Defektklasse wenigstens eine Eigenschaftsinformation aus der Gruppe zwingender Konditionen und Eigenschaftswertverteilungen hinterlegt ist. Schritt **810** stellt nur sicher, dass ein Defekt, der anderweitig nicht klassifiziert werden konnte, weil er beispielsweise die zwingenden Konditionen keiner Defektklasse erfüllt, nicht unklassifiziert bleibt. Somit können auch solche Defekte beispielsweise bei einer nachgeschalteten Sortierung adäquat berücksichtigt werden, die bei der Defektklassendefinition nicht berücksichtigt oder für die unzutreffende Parameter hinterlegt wurden.

**[0077]** Liegt wenigstens ein Wahrscheinlichkeitswert vor (oder wird auf die Fallunterscheidung bei **808** verzichtet) werden durch das Klassifizierungsmittel, welches mit der zweiten Vergleichseinrichtung verbunden ist, die unterschiedlichen Wahrscheinlichkeitswerte der verschiedenen Defektklassen in Schritt **809** ausgewertet, d. h. verglichen und ein Klassifikations-Flag für diejenige Defektklasse ausgegeben, für welche der höchste Wahrscheinlichkeitswert ausgegeben wurde.

**[0078]** Letzterer Schritt wird für zwei verschiedene Defektklassen mit unterschiedlicher Eigenschaftswertverteilung anhand eines einzigen Defekteigenschaftswertes anhand von **Fig. 7** erläutert. Ist beispielsweise für die Defektklasse 1 eine Häufigkeits- oder Eigenschaftswertverteilung gemäß Kurve **701** und für die Defektklasse 2 eine Häufigkeitsverteilung gemäß Kurve **702** hinterlegt, dann erhält man durch Einsetzen des entsprechenden ermittelten Defekteigenschaftswertes von 5,5 in jede der beiden Eigenschaftswertverteilung die zugeordnete Eigenschaftswahrscheinlichkeit für die Defektklasse 1 von 0,05 und die für die Defektklasse 2 von 0,25. Diese einfache Zuordnungsvorschrift eines Funktionswertes (Eigenschaftswahrscheinlichkeit) zu einem Defekteigenschaftswert ist keineswegs die einzig mögliche. Auch kann zur Ermittlung eines Wahrscheinlichkeitswertes beispielsweise bis zu dem Defekteigenschaftswert über die Eigenschaftswertverteilung aufintegriert werden.

#### Bezugszeichenliste

<b>101</b>	Digitalkamera
<b>102</b>	Bildverarbeitungseinrichtung
<b>103</b>	Defektanalyseeinrichtung
<b>104</b>	Auswerteeinrichtung
<b>105</b>	Vergleichseinrichtung
<b>106</b>	Klassifizierungsmittel
<b>107</b>	Speichereinrichtung
<b>200</b>	Drehtisch
<b>201</b>	Wafer
<b>210</b>	Bilderzeugungseinrichtung
<b>220</b>	Bilderzeugungseinrichtung
<b>212</b>	Digitalkamera
<b>214</b>	Beleuchtungseinrichtung
<b>216</b>	Beleuchtungseinrichtung
<b>222</b>	Digitalkamera
<b>224</b>	Beleuchtungseinrichtung
<b>226</b>	Beleuchtungseinrichtung
<b>218</b>	Umlenkspiegel
<b>228</b>	Umlenkspiegel
<b>230</b>	ebene Oberseite
<b>232</b>	oberer Kantenbereich (Bevel)
<b>234</b>	stirnseitiger Kantenbereich (Apex)
<b>236</b>	ebene Unterseite
<b>238</b>	unterer Kantenbereich
<b>301</b>	Defektfragment
<b>301'</b>	Defektfragment
<b>302</b>	Defektfragment
<b>302'</b>	Defektfragment
<b>303</b>	projizierter Vertikalabstand
<b>303'</b>	Abstand
<b>304</b>	projizierter Horizontalabstand
<b>304'</b>	Tangente
<b>305</b>	projizierter Abstand
<b>305'</b>	Tangente
<b>401</b>	Defektfragment
<b>410</b>	Defektrand

#### Patentansprüche

1. Inspektionssystem für die optische Untersuchung von Objektoberflächen, insbesondere von Waferoberflächen, mit

- wenigstens einer Digitalkamera (**101, 212, 222**), eingerichtet zum Erzeugen wenigstens eines digitalen Bildes der Objektoberfläche,
- einer ersten Bildverarbeitungseinrichtung (**102**), eingerichtet zum Zuordnen zusammenhängender Bildpunkte in dem Bild zu einem Defektfragment (**301, 301', 302, 302', 401**), wenn deren Inhalte innerhalb eines bestimmten Wertebereiches liegen,
- einer ersten Analyseeinrichtung (**103**), eingerichtet zum Ermitteln von Werten bestimmter Defektfragmenteigenschaften,
- einer zweiten Bildverarbeitungseinrichtung (**102**), eingerichtet zum Zuordnen von benachbarten Defektfragment (**301, 301', 302, 302', 401**) zu einem Defekt, wenn diese vorbestimmte Abstands- und/oder Formzusammenhänge aufweisen,
- einer zweiten Analyseeinrichtung (**103**), eingerichtet zum Ermitteln von Werten bestimmter Defekteigenschaften und
- einer Auswerteeinrichtung (**104**), eingerichtet zum Zuordnen des Defektes zu einer vordefinierten Defektklasse anhand der ermittelten Defektfragmenteigenschaftswerte und/oder der ermittelten Defekteigenschaftswerte.

2. Inspektionssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinrichtung (**104**)

- eine Speichereinrichtung (**107**) für die vordefinierten Defektklassen, in der Informationen über die bestimmten Defektfragmenteigenschaften und die bestimmten Defekteigenschaften hinterlegt und den vordefinierten Defektklassen zugeordnet sind, und
- eine Vergleichseinrichtung (**105**) aufweist, eingerichtet zum Vergleichen der ermittelten Defektfragmenteigenschaftswerte mit den hinterlegten Defektfragmenteigenschaftsinformationen und/oder der ermittelten Defekteigenschaftswerte mit den hinterlegten Defekteigenschaftsinformationen und zum Ausgeben eines Vergleichsergebnisses.

3. Inspektionssystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Bildverarbeitungseinrichtung (**102**) ferner eingerichtet ist, zu jedem Defektfragment (**301, 301', 302, 302', 401**) ein Fragmentrand zu ermitteln, und dass die erste Analyseeinrichtung (**103**) ferner eingerichtet ist, aus dem Fragmentrand Werte geometrischer Defektfragmenteigenschaften zu ermitteln.

4. Inspektionssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Analyseeinrichtung (**103**) ferner eingerichtet ist, aus den Bildpunkthinhalten Werte bestimmter Defektfragmenteigenschaften zu ermitteln.

5. Inspektionssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Bildverarbeitungseinrichtung (**102**) ferner eingerichtet ist, zu jedem Defekt einen Defektrand (**410**) zu ermitteln, und dass die zweite Analyseeinrichtung (**103**) ferner eingerichtet ist, aus dem Defektrand (**410**) Werte geometrischer Defekteigenschaften zu ermitteln.

6. Inspektionssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch eine dritte Analyseeinrichtung (**103**), eingerichtet Werte bestimmter statistischer Defekteigenschaften aus allen einem Defekt zugeordneten Defektfragmenten (**301, 301', 302, 302', 401**) gegebenenfalls in Verbindung mit den ermittelten Defektfragmenteigenschaftswerten zu ermitteln.

7. Inspektionsverfahren für die optische Untersuchung von Objektoberflächen, insbesondere von Waferoberflächen, auf Oberflächendefekte mit den Schritten:

- Aufnehmen wenigstens eines Bildes von der Objektoberfläche mittels einer Digitalkamera (**101, 212, 222**),
- Zuordnen zusammenhängender Bildpunkte in dem Bild zu einem Defektfragment (**301, 301', 302, 302', 401**), wenn deren Inhalte innerhalb eines bestimmten Wertebereiches liegen,
- Ermitteln von Werten bestimmter Defektfragmenteigenschaften,
- Zuordnen benachbarter Defektfragmenten (**301, 301', 302, 302', 401**) zu einem Defekt, wenn diese vorbestimmte Abstands- und/oder Formzusammenhänge aufweisen,
- Ermitteln von Werten bestimmter Defekteigenschaften und
- Zuordnen des Defektes zu einer vordefinierten Defektklasse anhand der ermittelten Defektfragmenteigenschaftswerte und/oder der ermittelten Defekteigenschaftswerte.

8. Inspektionsverfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass, Eigenschaftsinformationen über die bestimmten Defektfragmenteigenschaften und die bestimmten Defekteigenschaften in einer Speichereinrichtung (**107**) hinterlegt und den vordefinierten Defektklassen zugeordnet sind, und dass die ermittelten De-

fektfragmenteigenschaftswerte mit den hinterlegten Defektfragmenteigenschaftsinformationen und/oder die ermittelten Defekteigenschaftswerte mit den hinterlegten Defekteigenschaftsinformationen verglichen werden.

9. Inspektionsverfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass zu jedem Defektfragment (**301, 301', 302, 302', 401**) ein Fragmentrand ermittelt und dass aus dem Fragmentrand Werte geometrischer Defektfragmenteigenschaften ermittelt werden.

10. Inspektionsverfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass Werte bestimmter Defektfragmenteigenschaften anhand von Bildpunktinhalten ermittelt werden.

11. Inspektionsverfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass zu jedem Defekt ein Defektrand (**410**) ermittelt und dass aus dem Defektrand (**410**) Werte geometrischer Defekteigenschaften ermittelt werden.

12. Inspektionsverfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass aus allen einem Defekt zugeordneten Defektfragmenten (**301, 301', 302, 302', 401**) gegebenenfalls in Verbindung mit den ermittelten Defektfragmenteigenschaftswerten bestimmte statistische Defekteigenschaften ermittelt werden.

13. Inspektionsverfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass ein Dunkelfeldbild der Objektoberfläche aufgenommen wird.

14. Inspektionsverfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass ein Hellfeldbild der Objektoberfläche aufgenommen wird.

15. Inspektionsverfahren nach Anspruch 13 und 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Zuordnen zusammenhängender Bildpunkte einerseits in dem Hellfeldbild und andererseits in dem Dunkelfeldbild zu separaten Defektfragmenten (**301, 301', 302, 302', 401**) erfolgt.

16. Inspektionsverfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die separaten Defektfragmente (**301, 301', 302, 302', 401**) aus dem Hellfeldbild und dem Dunkelfeldbild zusammengeführt werden und das Zuordnen benachbarter Defektfragmente (**301, 301', 302, 302', 401**) in der Menge der zusammengeführten Defektfragmente (**301, 301', 302, 302', 401**) erfolgt.

17. Computerprogrammprodukt zur Identifikation von Oberflächendefekten auf Objektoberflächen, welches eingerichtet ist, aus Bilddaten von der Objektoberfläche zusammenhängende Bildpunkte mit Inhalten innerhalb eines bestimmten Wertebereiches zu identifizieren und zu einem Defektfragment (**301, 301', 302, 302', 401**) zusammenzufassen, Werte bestimmter Eigenschaften des Defektfragmentes (**301, 301', 302, 302', 401**) zu ermitteln, benachbarten Defektfragmente (**301, 301', 302, 302', 401**) mit vorbestimmten Abstands- und/oder Formzusammenhängen zu identifizieren und zu einem Defekt zusammenzufassen, Werte bestimmter Eigenschaften des Defektes zu ermitteln und den Defekt einer vordefinierten Defektklasse anhand der ermittelten Defektfragmenteigenschaftswerte und/oder der ermittelten Defekteigenschaftswerte zuzuordnen.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

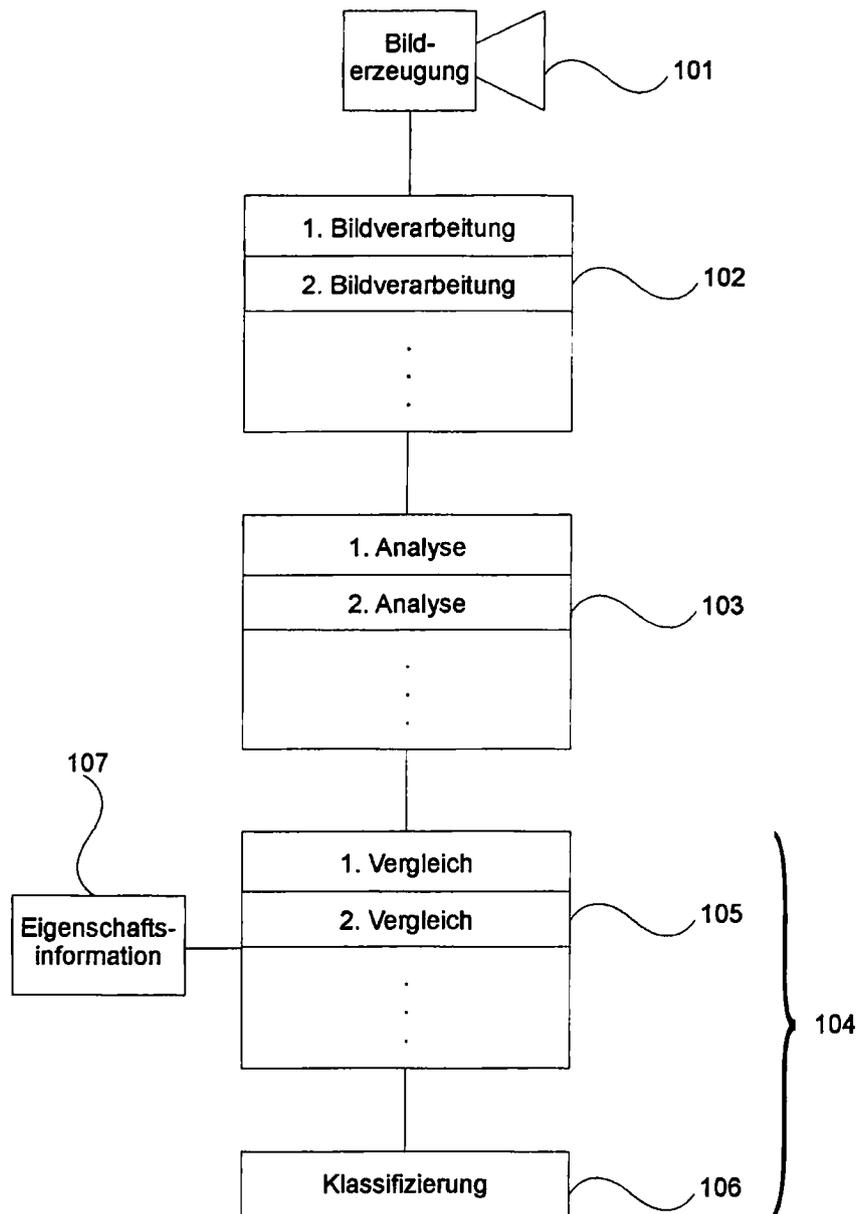


Fig. 2

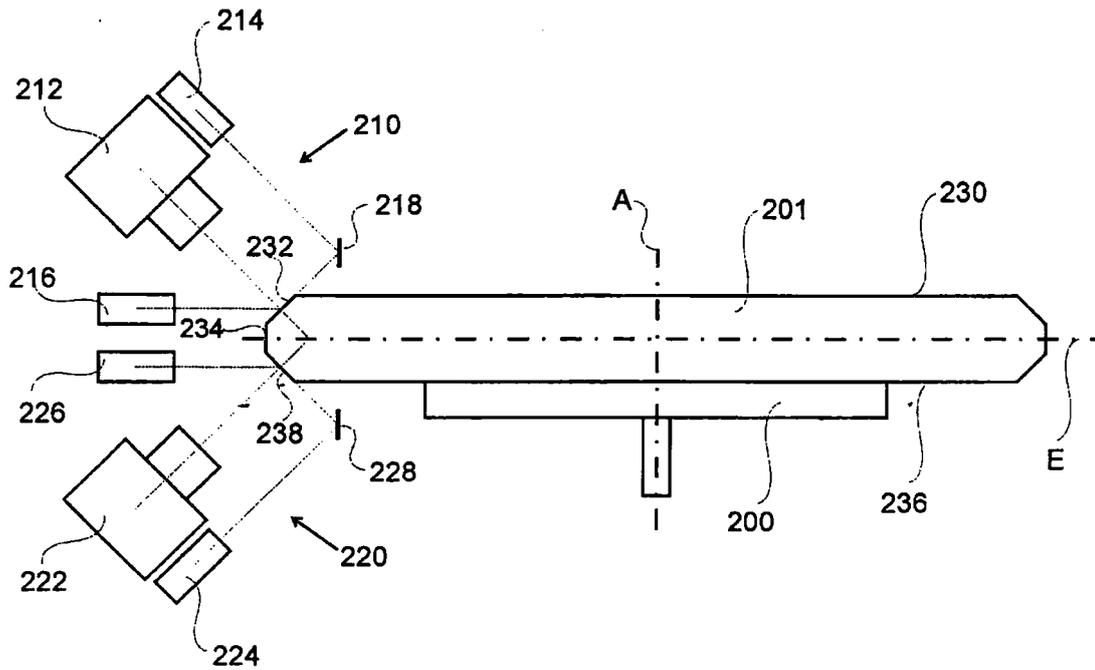


Fig. 3A

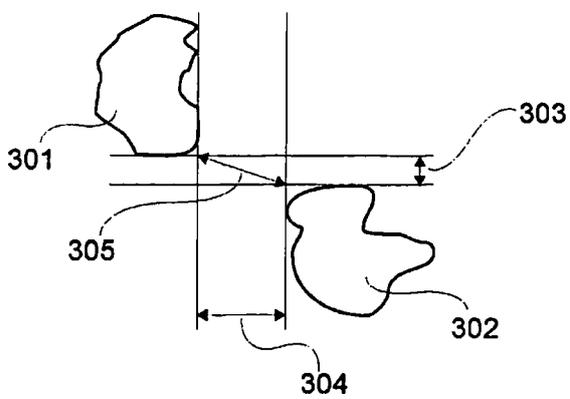


Fig. 3B

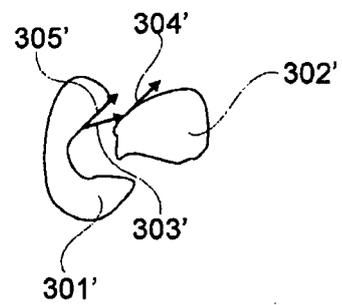


Fig. 4

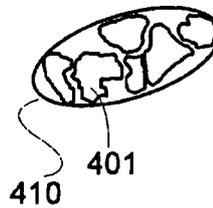


Fig. 5

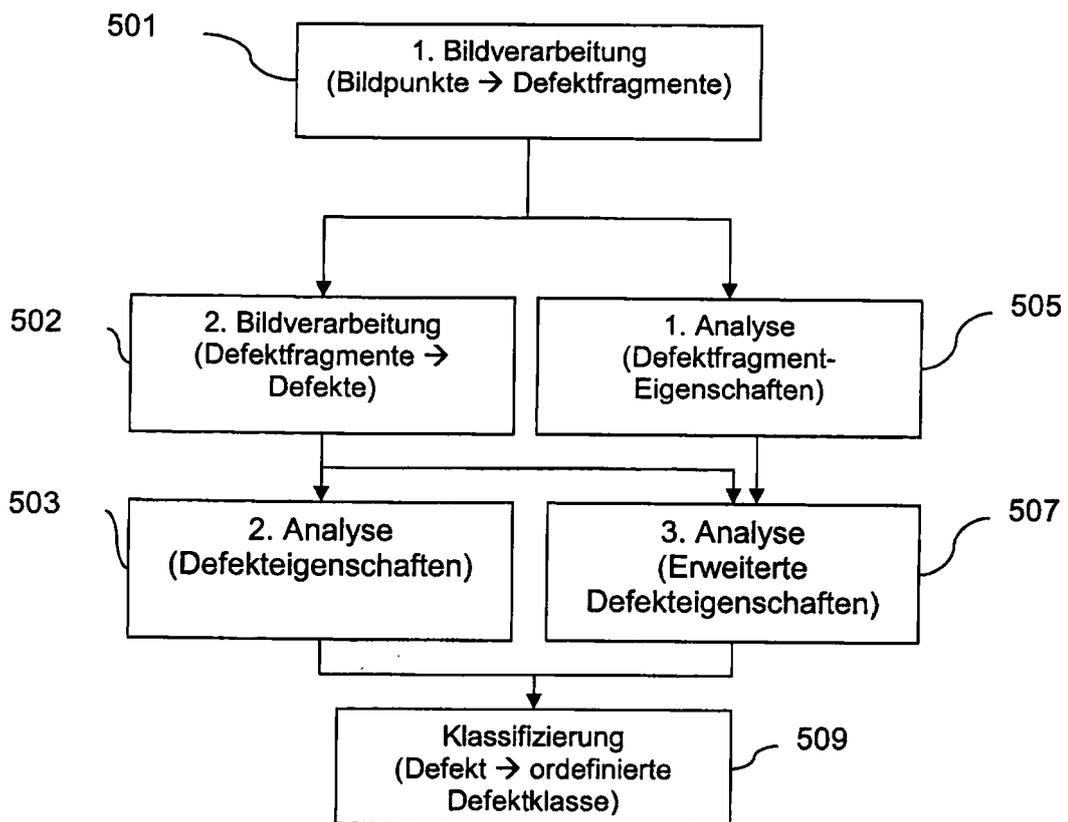


Fig. 6

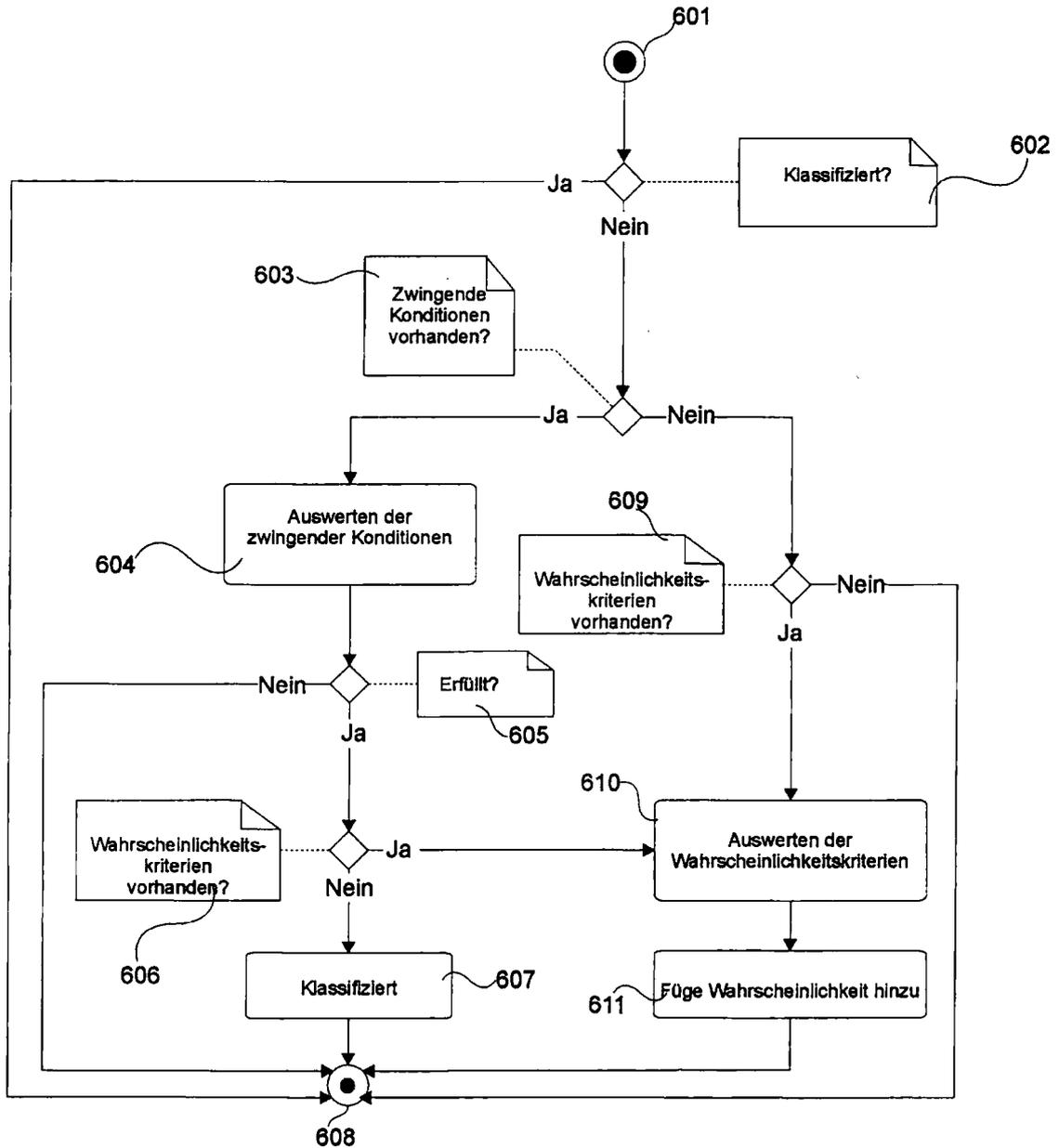


Fig. 7

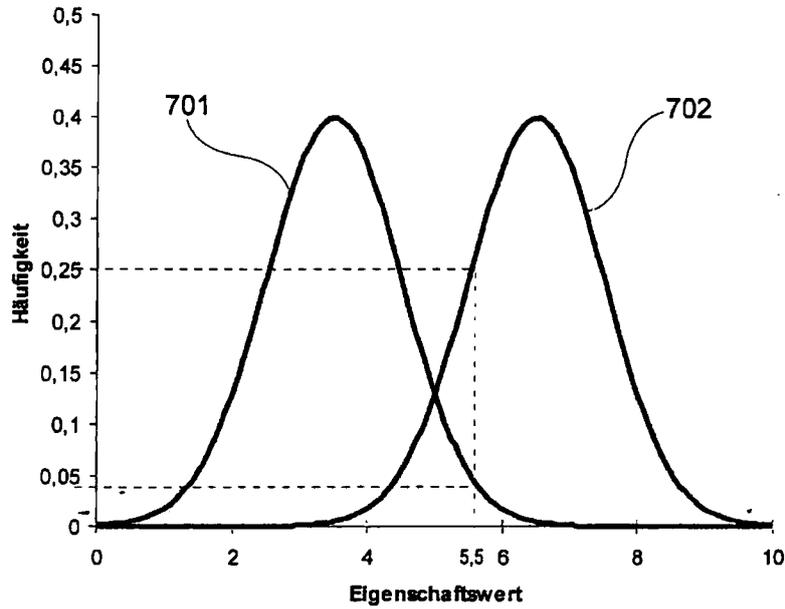


Fig. 8

