

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
22. Oktober 2009 (22.10.2009)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2009/127573 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
**G06T 7/00** (2006.01)

tu, Tartuma (EE). **NIKOLOV, Mladen** [BG/BG]; Razsadnik Konyovitsa, bl. 87, 1330 Sofia (BG).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/054215

(74) **Anwalt: FUCHS**; Söhnleinstraße 8, 65201 Wiesbaden (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:  
8. April 2009 (08.04.2009)

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102008001173.8 14. April 2008 (14.04.2008) DE

(71) **Anmelder** (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **NANOPHOTONICS AG** [DE/DE]; Galileo-Galilei-Str. 28, 55129 Mainz (DE).

(72) **Erfinder; und**

(75) **Erfinder/Anmelder** (nur für US): **BUGNER, Dirk** [DE/DE]; Adam-Karrillon-Str. 56, 55118 Mainz (DE). **SITOV, Sergei** [EE/EE]; Kaunase pst 43-4, EE50706 Tar-

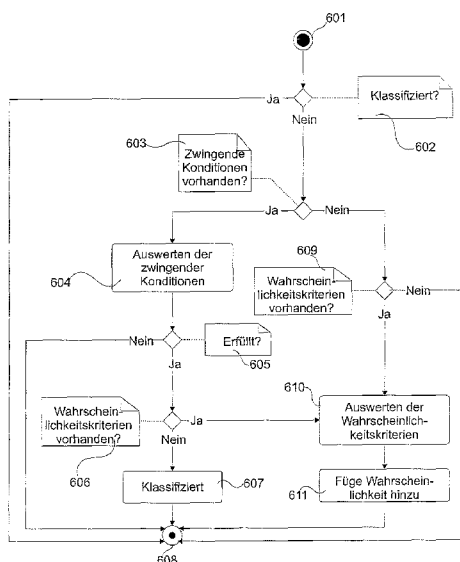
(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** CLASSIFICATION DEVICE AND METHOD FOR THE CLASSIFICATION OF SURFACE DEFECTS ESPECIALLY ON WAFER SURFACES

(54) **Bezeichnung:** KLASSIFIZIERUNGSEINRICHTUNG UND -VERFAHREN FÜR DIE KLASSIFIZIERUNG VON OBERFLÄCHENDEFEKTEN INSBESONDERE AUF WAFEROBERFLÄCHEN

Fig. 6



(57) **Abstract:** The invention relates to a classification device, a classification method, and a computer program product for the classification of surface defects on the surfaces of objects, especially on wafer surfaces. According to the method, the surface defect is associated with a pre-defined defect category for which at least one piece of property information from the group of compulsory conditions and property value distributions is stored. Values of defined defect properties of the surface defect are determined, the determined defect property values are checked to see that they meet the compulsory conditions if at least one compulsory condition is stored, the association with the defect category is approved if the compulsory conditions are met and no characteristic value distribution for the defect category is stored, and a probability value for the association of the surface defect with the defect category is determined by comparing the property value distributions with the determined defect characteristic values if at least one property value distribution for the defect category is stored.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

ja = yes  
nein = no  
602...classified?  
603...compulsory conditions available?  
604...evaluation of compulsory conditions  
609...probability criteria available?  
605...satisfied?  
610...evaluation of probability criteria  
606...probability criteria available?  
607...classified  
611...add probability

WO 2009/127573 A2



TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

---

eine Klassifizierungseinrichtung, ein Klassifizierungsverfahren sowie ein Computerprogrammprodukt für die Klassifizierung von Oberflächendefekten auf Objektoberflächen, insbesondere auf Waferoberflächen. Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren wird der Oberflächendefekt einer vordefinierten Defektklasse zugeordnet, für die wenigstens eine Eigenschaftsinformation aus der Gruppe zwingender Konditionen und Eigenschaftswertverteilungen hinterlegt ist. Dabei werden Werte bestimmter Defekteigenschaften des Oberflächendefektes ermittelt, die ermittelten Defekteigenschaftswerte auf Erfüllung der zwingenden Konditionen überprüft, wenn wenigstens eine zwingende Kondition hinterlegt ist, die Zugehörigkeit zu der Defektklasse bejaht, wenn die zwingenden Konditionen erfüllt sind und keine Eigenschaftswertverteilung für die Defektklasse hinterlegt ist und ein Wahrscheinlichkeitswert für die Zugehörigkeit des Oberflächendefektes zu der Defektklasse durch Vergleich der Eigenschaftswertverteilungen mit den ermittelten Defekteigenschaftswerte bestimmt, wenn wenigstens eine Eigenschaftswertverteilung für die Defektklasse hinterlegt ist.

## **Klassifizierungseinrichtung und -verfahren für die Klassifizierung von Oberflächendefekten insbesondere auf Waferoberflächen**

### **Beschreibung**

Die Erfindung betrifft eine Klassifizierungseinrichtung, ein Klassifizierungsverfahren sowie ein Computerprogrammprodukt für die Klassifizierung von Oberflächendefekten auf Objektoberflächen, insbesondere auf Waferoberflächen. Bei dem Verfahren wird der Oberflächendefekt einer vordefinierten Defektklasse zugeordnet.

Die optische Inspektion 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 Unterseite und der Kantenbereich werden hierin unter Objektoberfläche oder Oberfläche zusammengefasst.

Die eingangs genannte Klassifizierungseinrichtung ist Teil eines Inspektionssystems, das Klassifizierungsverfahren Teil eines Inspektionsverfahrens. Beispielsweise aus der DE 101 31 665 A1 ist ein solches Verfahren bekannt. Dort werden die mittels Videokamera während der Inspektion gewonnenen Bilddaten einer automatischen Auswertung unterzogen, um hieraus Defekte (Beschädigungen des Randes, insbesondere Risse, Ausbrüche und/oder Kratzer) zu erfassen, anzuzeigen und/oder zu protokollieren. Es findet demgemäß eine Einteilung der Beschädigungen oder Defekte in vordefinierte Defektklassen (Kategorien) statt.

Ein weiteres 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 unter-

sucht 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.

Aus der Patentanmeldung EP 1 061 571 A2 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Klassifizierung von Oberflächendefekten auf Wafern bekannt, wonach ein Defekt auf einer Waferoberfläche zunächst mittels eines Hauptklassifizierers in eine von einer bestimmten Anzahl von Hauptklassen unter Zuhilfenahme von Randinformationen und topographischen Informationen eingeordnet wird. Der Defekt wird anschließend in eine Unterklasse von zufällig definierten Defekten mittels eines adaptiven, der Hauptklasse zugeordneten Klassifizierers eingeordnet.

Auch in der Patentanmeldung EP 1 069 609 A2 ist ein Verfahren zum automatischen Identifizieren und Klassifizieren von Defekten auf einem Halbleiterwafer bekannt, wonach ein entdeckter Defekt nach quantitativen Attributen, wie Größe, Materialzusammensetzung, Farbe, Ort, etc. untersucht wird und eine dementsprechende numerische Information in einer Datenbank zum Vergleich mit anderen korrespondierenden Defekten hinterlegt wird. Ferner wird eine Information über den der Inspektion vorausgegangenen Bearbeitungsschritt des Wafers hinterlegt, so dass bei wiederholtem Auftreten ähnlicher Defekte anhand eines Vergleichs der hinterlegten Defektinformationen dieselbe Ursache für das Auftreten des nachfolgend inspizierten Defekts erkannt und die Ursache behoben werden kann.

Nach der Lehre der DE 101 31 665 A1 wird der Defekt beispielsweise durch Vergleich von Defekteigenschaften (Ausdehnung in X und Y-Richtung) mit hinterlegten Eigenschaftsinformationen (vordefinierte und abgespeicherte Grenzwerten) einer Defektklasse zugeordnet, also klassifiziert. Die Zuordnung erfolgt unmittelbar anhand der ermittelten

Defekteigenschaft, wenn die vordefinierten Grenzwerte oder zwingenden Konditionen eingehalten sind.

Die unmittelbare Zuordnung führt jedoch in manchen Fällen nicht zu einer zufrieden stellenden Klassifikation. Beispielsweise können tatsächlich falsche Zuordnungen auftreten, wenn sich nicht alle Defektklassen anhand der zwingenden Konditionen unterscheiden lassen.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Defektklassifikationseinrichtung, ein Klassifikationsverfahren sowie ein entsprechendes Computerprogrammprodukt bereitzustellen, mit welchem eine verfeinerte Trennung verschiedener Defektklassen und damit eine zuverlässigere Zuordnung aufgefundener Defekte zu der richtigen Defektklasse möglich ist.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Klassifikationseinrichtung nach Anspruch 1, ein Klassifikationsverfahren nach Anspruch 9 und ein Computerprogrammprodukt gemäß Anspruch 17 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Die erfindungsgemäße Klassifizierungseinrichtung weist auf:

- eine Analyseeinrichtung, eingerichtet zum Ermitteln von Werten bestimmter Defekteigenschaften des Oberflächendefektes,
- eine Speichereinrichtung, auf der wenigstens eine Eigenschaftsinformation aus der Gruppe zwingender Konditionen und Eigenschaftswertverteilungen für jede vordefinierte Defektklasse hinterlegt ist,
- eine ersten Vergleichseinrichtung, verbunden mit der Analyseeinrichtung und der Speichereinrichtung und eingerichtet zum Prüfen der ermittelten Defekteigenschaftswerte auf Erfüllung der zwingenden Konditionen und zum Ausgeben eines Klassifikations-Flags,

- wenn die zwingenden Konditionen erfüllt sind und keine Eigenschaftswertverteilung für die Defektklasse hinterlegt ist, und
- eine zweite Vergleichseinrichtung, verbunden mit der Analyseeinrichtung und der Speichereinrichtung und eingerichtet zum Vergleichen der Eigenschaftswertverteilungen mit den ermittelten Defekteigenschaftswerten und zum Ausgeben eines Wahrscheinlichkeitswertes für die Zugehörigkeit des Oberflächendefektes zu der Defektklasse in Abhängigkeit des Vergleiches.

Das erfindungsgemäße Klassifizierungsverfahren für die Klassifizierung von Oberflächendefekten sieht vor, dass der Oberflächendefekt einer vordefinierten Defektklasse zugeordnet wird, für die wenigstens eine Eigenschaftsinformation aus der Gruppe zwingender Konditionen und Eigenschaftswertverteilungen hinterlegt ist und weist die Schritte auf:

- Ermitteln von Werten bestimmter Defekteigenschaften des Oberflächendefektes,
- Prüfen der ermittelten Defekteigenschaftswerte auf Erfüllung der zwingenden Konditionen, wenn wenigstens eine zwingende Kondition hinterlegt ist,
- Bejahen der Zugehörigkeit zu der Defektklasse, wenn die zwingenden Konditionen erfüllt sind und keine Eigenschaftswertverteilung für die Defektklasse hinterlegt ist und
- Bestimmen eines Wahrscheinlichkeitswertes für die Zugehörigkeit des Oberflächendefektes zu der Defektklasse durch Vergleich der Eigenschaftswertverteilungen mit den ermittelten Defekteigenschaftswerten, wenn wenigstens eine Eigenschaftswertverteilung für die Defektklasse hinterlegt ist.

Entsprechend ist das erfindungsgemäße Computerprogrammprodukt zur Klassifizierung von Oberflächendefekten nach vordefinierten Defektklassen, für welche jeweils wenigstens eine Eigenschaftsinformation

aus der Gruppe zwingender Konditionen und Eigenschaftswertverteilung hinterlegt ist, eingerichtet, Werte bestimmter Defekteigenschaften des Oberflächendefektes zu ermitteln, die ermittelten Defekteigenschaftswerte auf Erfüllung zwingender Konditionen zu prüfen, wenn wenigstens eine zwingende Kondition für die Defektklasse hinterlegt ist, die Zugehörigkeit zu der Defektklasse zu bejahen, wenn die zwingenden Konditionen erfüllt sind und keine Eigenschaftswertverteilung für die Defektklasse hinterlegt ist und einen Wahrscheinlichkeitswert für die Zugehörigkeit des Oberflächendefektes zu der Defektklasse durch Vergleich der Eigenschaftswertverteilungen mit den ermittelten Defekteigenschaftswerte zu bestimmen, wenn wenigstens eine Eigenschaftswertverteilung für die Defektklasse hinterlegt ist.

Alle Verfahrensschritte des Ermitteln von Werten, des Prüfens der ermittelten Eigenschaftswerte, des Bejahens der Zugehörigkeit sowie des Bestimmens eines Wahrscheinlichkeitswertes können einzeln oder gemeinsam sowohl als Software als auch als Hardware oder in Kombination aus Software und Hardware implementiert sein.

Hierin werden nachfolgende 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 Fragment-

- tes (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.

Im Gegensatz zu den bekannten Klassifizierungsverfahren erfolgt die Klassifizierung also nicht allein anhand zwingender Konditionen, son-

dem zusätzlich anhand von Wahrscheinlichkeitskriterien. Hierbei ist es erfindungsgemäß möglich, beliebig viele zwingende Konditionen und Eigenschaftswertverteilungen für jede Defektklasse zu hinterlegen. Auch kann auf zwingende Konditionen oder Eigenschaftswertverteilungen verzichtet werden, je nachdem, welche 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.

Die Klassifikationsinformation kann anschließend beispielsweise auf geeignete Weise einem Operator zur Anzeige gebracht oder an eine der Klassifizierungseinrichtung nachgeschalteten Sortiermaschine weitergegeben werden, der oder die den Wafer entsprechend einem vorgegebenen „Grading“ sortiert.

Zwingende Konditionen lassen sich erfindungsgemäß beispielsweise in Form eines Eigenschaftsnamens, eines Minimalwertes und eines Maximalwertes definieren und auf der Speichereinrichtung hinterlegen. 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 Definition zwingender Konditionen kann beispielsweise mittels einer frei programmierbaren Konfigurationsdatei erfolgen, in der obige Parameter und etwaige Kombinationen hinterlegt sind. Eine solche Konfigurationsdatei kann beispielsweise im XML-Format folgende Gestalt haben:

```
<Mandatories>
  <MandatoryValue name="Roundness"
    min="50.0" max="MAX" />
  <MandatoryValue name="Area" min="5000.0000"
    max="1000000.0" />
```

```

<!-- additional conditions are possible -->
<BooleschenEq>Roundness AND Area</ BooleschenEq>
</Mandatories>

```

Die Definition einer Eigenschaftswertverteilung erfolgt erfindungsgemäß beispielsweise durch einen Eigenschaftsnamens, einen Durchschnittswert und eine Standardabweichung für die Eigenschaft. Allgemeiner kann die Eigenschaftswertverteilung auch in Form einer beliebigen analytischen Verteilungsfunktion oder einer Wertetabelle hinterlegt sein. Die Definition kann wiederum in einer Konfigurationsdatei (eine andere oder dieselbe, in der auch die zwingenden Konditionen hinterlegt sind) erfolgen und beispielsweise folgende Gestalt annehmen:

```

<Probabilities>
  <ProbabilityValue name="Roundness" mean="5.0"
    stddev="1.0" />
  <ProbabilityValue name="Smoothness" mean="0.4"
    stddev="0.2" />
  <!-- additional conditions are possible -->
</Probabilities>

```

Alle Eigenschaftsinformationen werden ferner unter dem Namen der Defektklasse zusammengefasst, wie folgender Auszug aus der Konfigurationsdatei beispielhaft erläutert:

```

<Class name="Chipout">
  <Mandatories>
  <!-- contains mandatory conditions -->
  </Mandatories>
  <Probabilities>
  <!-- contains probability conditions -->
  </Probabilities>
</Class>

```

Anstelle der frei programmierbaren Konfigurationsdatei können die Eigenschaftsinformationen auch in Form von Programmcode oder einer Tabelle in der Speichereinrichtung hinterlegt werden.

Die typischerweise mittels einer Digitalkamera und einer Bildverarbeitungseinrichtung identifizierten Defekte weisen Eigenschaften auf, welche erfindungsgemäß mittels der Analyseeinrichtung analysiert werden, indem entsprechende Eigenschaftswerte aus der Bildinformation ermittelt werden. Hierzu müssen zunächst die aussagekräftigsten Defekteigenschaften der Defektklasse festgelegt oder „bestimmt“ werden. Einige „bestimmte“ Defekteigenschaften, die sich besonders gut zur Unterscheidung verschiedenartiger Defekte als nützlich erwiesen haben, sind nachfolgend zusammengestellt. Darin wird zwischen Defekteigenschaften, Defektfragmenteigenschaften und erweiterten, so genannten statistischen, Defekteigenschaften unterschieden.

Die Erfinder haben nämlich erkannt, dass ein Defekt sich in der Regel nicht als ein einzelnes zusammenhängendes Gebiet, sondern als Ansammlung mehrerer Defektfragmente darstellt. Hierdurch kann die Gesamtzahl der zur Verfügung stehenden Eigenschaften erhöht und damit die Zuordnungsgenauigkeit verbessert werden. Details hierzu sind in der Figurenbeschreibung erläutert.

Die nachfolgende Aufzählung von Defekteigenschaften ist beispielhaft und nicht als abschließend zu verstehen. Auch mag es genügen, nur einige der aufgezählten Defekteigenschaften für die Klassifizierung zu verwenden.

#### **Defektfragmenteigenschaften**

- Fläche des Defektfragmentes
- Fläche des ummantelnden Rechtecks des Defektfragmentes
- Verhältnis der ummantelnden Rechteckfläche zur Fragmentfläche
- Flächenschwerpunkt des Defektfragmentes gewichtet nach Bildpunktinhalt
- Flächenschwerpunkt des Defektfragmentes nicht gewichtet
- Hauptachse des Defektfragments

- Nebenachse des Defektfragments
- Aspektverhältnis von Hauptachse zur Nebenachse des Defektfragmentes
- Orientierung der Hauptachse des Defektfragmentes
- Mittelwert der Grauwertverteilung des Defektfragmentes
- Standardabweichung der Grauwertverteilung des Defektfragmentes
- Verhältnis der horizontalen zur vertikalen Ausdehnung des Defektfragmentes
- Rundheit des Defektfragmentes
- Weichheit der Umhüllung des Defektfragmentes
- Umfang der Umhüllung eines Defektfragmentes
- Kurtosis des Defektfragmentes
- Schiefe des Defektfragmentes

#### **Defekteigenschaften**

- Defektfläche
- Defektumfang
- Fläche des ummantelnden Rechtecks des Defektes
- Verhältnis der ummantelnden Rechteckfläche zur Defektfläche
- Flächenschwerpunkt des Defektes
- Hauptachse des Defektes
- Nebenachse des Defektes
- Verhältnis von Hauptachse zur Nebenachse des Defektes
- Orientierung der Hauptachse des Defektes
- Verhältnis der horizontalen zur vertikalen Ausdehnung des Defektes

#### **Erweiterte Defekteigenschaften**

- Anzahl der Defektfragmente innerhalb des Defektes
- Summation der Defektfragmentflächen
- Summation der Defektfragmentumfänge des Defektes

- Verhältnis des Defektumfangs zum aufsummierten Umfang der Defektfragmente
- Gemittelte Standardabweichung der Defektfragmente
- Gemittelte Weichheit der Defektfragmente
- Gemittelte Rundheit der Defektfragmente
- Gemittelte Kurtosis der Defektfragmente
- Gemittelte Skewness der Defektfragmente

Nachfolgend wird nicht zwischen den genannten Eigenschaftstypen unterschieden. Soweit sich aus dem Kontext der Beschreibung und der Patentansprüche nicht ergibt, dass die „Defekteigenschaften“, die „Defektfragmenteigenschaften“ oder die „erweiterten Defekteigenschaften“ im Sinne obiger Begriffsdefinitionen gemeint sind, werden also vorgenannten Eigenschaften zur Vereinfachung unter dem Begriff „Defekteigenschaften“ zusammengefasst.

Die mittels der Analyseeinrichtung ermittelten Defekteigenschaftswerte werden erfindungsgemäß an eine erste Vergleichseinrichtung weitergegeben, welche prüft, ob diese Werte die in der Speichereinrichtung hinterlegten zwingenden Konditionen erfüllen. Sind die zwingenden Konditionen erfüllt und ist ferner für die Defektklasse keine Eigenschaftswertverteilung hinterlegt, dann ist die Zugehörigkeit des Defekts zu dieser Defektklasse eindeutig. Deshalb wird von der ersten Vergleichseinrichtung ein Klassifikations-Flag ausgegeben und die Überprüfung weiterer Defektlassen kann abgebrochen werden.

Jedenfalls ist aber auch eine zweite Vergleichseinrichtung vorgesehen und mit der Analyseeinrichtung und der Speichereinrichtung verbunden. Die zweite Vergleichseinrichtung vergleicht die hinterlegten Eigenschaftswertverteilungen mit den ermittelten Defekteigenschaftswerten und gibt einen Wahrscheinlichkeitswert für die Zugehörigkeit des Oberflächendefekts zu der Defektklasse in Abhängigkeit des Vergleiches

aus. Bedingung hierfür ist, dass zumindest eine Eigenschaftswertverteilung für diese Defektklasse hinterlegt ist.

Es findet im Gegensatz zu den bekannten Klassifizierungsverfahren eine stufenweise Prüfung zunächst der zwingenden Konditionen und dann der Eigenschaftswertverteilungen statt, die auch dann eine eindeutige Klassifizierung ermöglicht, wenn sich nicht alle Defektklassen anhand der zwingenden Konditionen unterscheiden lassen.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung weist die Klassifizierungseinrichtung ferner ein Klassifizierungsmittel auf, welches mit der zweiten Vergleichseinrichtung verbunden und eingerichtet ist, den Oberflächendefekt zu einer Defektklasse in Abhängigkeit von dem von der zweiten Vergleichseinrichtung ausgegebenen Wahrscheinlichkeitswert zuzuordnen. Diese Zuordnung geschieht dann, wenn keine zwingende Kondition hinterlegt ist oder wenn die zwingenden Konditionen erfüllt sind und wenigstens eine Eigenschaftswertverteilung der Defektklasse hinterlegt ist.

Vorzugsweise wird der Oberflächendefekt derjenigen Defektklasse zugeordnet, für die der höchste Wahrscheinlichkeitswert von der zweiten Vergleichseinrichtung ausgegeben wurde.

Die erste Vergleichseinrichtung ist vorzugsweise ferner eingerichtet, im Falle der Nicht-Erfüllung der zwingenden Konditionen ein Vergleichsende-Flag auszugeben. Dies dient dazu, dass der Defekt dieser Defektklasse nicht zugeordnet wird, wenn die zwingenden Konditionen nicht erfüllt sind. Die zweite Stufe der Zugehörigkeitsprüfung, nämlich das Bestimmen des Wahrscheinlichkeitswertes, kann in diesem Fall umgangen werden.

Das Bestimmen des Wahrscheinlichkeitswertes mittels der zweiten Vergleichseinrichtung geschieht vorzugsweise dadurch, dass in jede hinterlegte Eigenschaftswertverteilung der entsprechende ermittelte Defekteigenschaftswert eingesetzt und die zugeordnete Eigenschaftswahrscheinlichkeit ermittelt wird.

Liegen für eine Defektklasse mehrere Eigenschaftswertverteilungen für unterschiedliche Defekteigenschaften vor, so werden die auf die vorstehende Weise ermittelten Eigenschaftswahrscheinlichkeiten bevorzugt miteinander verknüpft, um den Wahrscheinlichkeitswert zu berechnen.

Die Verknüpfung ist vorzugsweise ein Multiplizieren der einzelnen Eigenschaftswahrscheinlichkeiten oder eine Mittelwertbildung über alle ermittelten Eigenschaftswahrscheinlichkeiten der Defektklasse.

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

- Figur 1 eine schematisch vereinfachte Darstellung einer Inspektionsvorrichtung;
- Figur 2 eine Seitenansicht eines Messsystems zur Erzeugung eines Waferkantenbildes;
- Figur 3A eine erste Darstellung der Zuordnung benachbarter Defektfragmente anhand von Abstandszusammenhängen;
- Figur 3B eine zweite Darstellung der Zuordnung von benachbarten Defektfragmenten anhand von Formzusammenhängen;

- Figur 4 eine Darstellung eines virtuellen Defektbildes;
- Figur 5 ein Ablaufdiagramm einer Ausführungsform des Inspektionsverfahrens;
- Figur 6 ein Ablaufdiagramm des Vergleiches der ermittelten Defekteigenschaften mit hinterlegten Eigenschaftsinformationen einer vordefinierten Defektklasse;
- Figur 7 ein beispielhaftes Diagramm zweier Eigenschaftswertverteilungen unterschiedlicher Defektklassen und
- Figur 8 ein Ablaufdiagramm des Klassifikationsschrittes.

Figur 1 gibt eine Übersicht über die bei der optischen Inspektion von Halbleiterwafern ausgeführten Schritte einschließlich der erfindungsgemäßen Klassifizierung sowie die Merkmale einer entsprechend eingerichteten Inspektionsvorrichtung 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 Bildverarbei-

tion, 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. Die Vergleichseinrichtung 105 kann ferner mehrere Vergleichseinrichtungen aufweisen, deren Funktion sich aus den Erläuterungen zu Figur 6 ergeben wird. 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.

Beispielhaft ist in Figur 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 Beleuchtungseinrich-

tungen 214 bzw. 224 für die Hellfeldbeleuchtung ist ferner jeweils ein Umlenkspiegel 218 bzw. 228 zu zählen. Die Darstellung 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.

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.

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.

Die beiden Digitalkameras 212 und 222 sind vorzugsweise Zeilenkameras, deren Bildzeile in einer vertikalen Ebene zur Waferebene E, d. h. radial zum Wafer 201 liegt. Ein umlaufendes Kantenbild wird durch Rotation des Wafers 201 um seine Mittelachse A erzeugt, wobei bei Ein-

satz 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.

In den Figuren 3A und 3B ist anhand zweier beispielhaft ausgewählter Kriterien das Zuordnen zweier Defektfragmente zu einem Defekt illustriert. Gemäß Figur 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.

Gemäß Figur 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 Defektändern gering sind und eine hohe Anzahl paralleler Tangenten 304',

305' vorliegen. Die Anziehungskraft kann gemäß folgender Formel berechnet werden:

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

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

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

Das unter Bezugnahme auf Figur 1 andeutungsweise beschriebene Verfahren wird anhand von Figur 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 je-

weils abhängig von dem eingesetzten Beleuchtungssystem und muss dementsprechend manuell oder automatisch festgelegt werden.

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.

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.

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.

Anschließend werden die Defektfragmente mittels einer dritten Analyseeinrichtung in Schritt 507 einer weiteren Analyse hinsichtlich der oben genannten erweiterten Defekteigenschaften unterzogen. Hierbei wer-

den 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.

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 Figuren 6 bis 8 erläutert.

Bei der Erläuterung der Auswertung oder Zugehörigkeitsprüfung der mittels der Analyseeinrichtungen gewonnenen Eigenschaftswerte anhand von Figur 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.

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 Kondi-

tionen 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.

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 Figur 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.

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 tabel-

larischer 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.

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.

Die in Figur 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.

In Figur 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.

An die Zugehörigkeitsprüfungen aller Defektklassen mittels der Auswerteeinrichtungen schließt sich die anhand von Figur 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 ver-

zichtet 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.

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.

Letzterer Schritt wird für zwei verschiedene Defektklassen mit unterschiedlicher Eigenschaftswertverteilung anhand eines einzigen Defekteigenschaftswertes anhand von Figur 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 Defekteigen-  
schaftswert über die Eigenschaftswertverteilung aufintegriert werden.

**Bezugszeichenliste**

- 10 Wafer
- 101 Digitalkamera
- 102 Bildverarbeitungseinrichtung
- 103 Defektanalyseeinrichtung
- 104 Auswerteeinrichtung
- 105 Vergleichseinrichtung
- 106 Klassifizierungsmittel
- 107 Speichereinrichtung
  
- 200 Drehtisch
- 201 Wafer
- 210 Bilderzeugungseinrichtung
- 220 Bilderzeugungseinrichtung
- 212 Digitalkamera
- 214 Beleuchtungseinrichtung
- 216 Beleuchtungseinrichtung
- 222 Digitalkamera
- 224 Beleuchtungseinrichtung
- 226 Beleuchtungseinrichtung
- 218 Umlenkspiegel
- 228 Umlenkspiegel
  
- 230 ebene Oberseite
- 232 oberer Kantenbereich (Bevel)
- 234 stirnseitiger Kantenbereich (Apex)
- 236 ebene Unterseite
- 238 unterer Kantenbereich
  
- 301 Defektfragment
- 301' Defektfragment

- 302 Defektfragment
- 302' Defektfragment
- 303 projizierter Vertikalabstand
- 303' Abstand
- 304 projizierter Horizontalabstand
- 304' Tangente
- 305 projizierter Abstand
- 305' Tangente
  
- 401 Defektfragment
- 410 Defektrand

### Patentansprüche

1. Klassifizierungseinrichtung für die Klassifizierung von Oberflächendefekten auf Objektoberflächen, insbesondere auf Waferoberflächen, mit
  - einer Analyseeinrichtung (103), eingerichtet zum Ermitteln von Werten bestimmter Defekteigenschaften des Oberflächendefektes,
  - einer Speichereinrichtung (107), auf der wenigstens eine Eigenschaftsinformation aus der Gruppe zwingender Konditionen und Eigenschaftswertverteilungen für jede vordefinierte Defektklasse hinterlegt ist,
  - einer ersten Vergleichseinrichtung (105), verbunden mit der Analyseeinrichtung (103) und der Speichereinrichtung (107) und eingerichtet zum Prüfen der ermittelten Defekteigenschaftswerte auf Erfüllung der zwingenden Konditionen und zum Ausgeben eines Klassifikations-Flags, wenn die zwingenden Konditionen erfüllt sind und keine Eigenschaftswertverteilung für die Defektklasse hinterlegt ist, und
  - einer zweiten Vergleichseinrichtung (105), verbunden mit der Analyseeinrichtung (103) und der Speichereinrichtung (107) und eingerichtet zum Vergleichen der Eigenschaftswertverteilungen mit den ermittelten Defekteigenschaftswerten und zum Ausgeben eines Wahrscheinlichkeitswertes für die Zugehörigkeit des Oberflächendefektes zu der Defektklasse in Abhängigkeit des Vergleiches.
  
2. Klassifizierungseinrichtung nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch**
  - ein Klassifizierungsmittel, verbunden mit der zweiten Vergleichseinrichtung (105) und eingerichtet zum Zuordnen des

Oberflächendefektes zu einer Defektklasse in Abhängigkeit von dem Wahrscheinlichkeitswert.

3. Klassifizierungseinrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**,  
dass das Klassifizierungsmittel eingerichtet ist, Wahrscheinlichkeitswerte zu vergleichen und ein Klassifikations-Flag für diejenige Defektklasse auszugeben, für welche der höchste Wahrscheinlichkeitswert ausgegeben wurde
4. Klassifizierungseinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,  
dass die erste Vergleichseinrichtung (105) eingerichtet ist, im Falle der Nicht-Erfüllung der zwingenden Konditionen ein Vergleichsende-Flag auszugeben.
5. Klassifizierungseinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,  
dass die zweite Vergleichseinrichtung (105) eingerichtet ist, in jede hinterlegte Eigenschaftswertverteilung den entsprechenden ermittelten Defekteigenschaftswert einzusetzen und die zugeordneten Eigenschaftswahrscheinlichkeiten zu ermitteln.
6. Klassifizierungseinrichtung nach Anspruch 5, **gekennzeichnet durch**,  
dass die zweite Vergleichseinrichtung (105) eingerichtet ist, den Wahrscheinlichkeitswert durch Verknüpfen von Eigenschaftswahrscheinlichkeiten der Defektklasse zu ermitteln.
7. Klassifizierungseinrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**,

dass die zweite Vergleichseinrichtung (105) eingerichtet ist, den Wahrscheinlichkeitswert durch Multiplizieren von Eigenschaftswahrscheinlichkeiten oder Mittelwertbildung über Eigenschaftswahrscheinlichkeiten der Defektklasse zu ermitteln.

8. Klassifizierungsverfahren für die Klassifizierung von Oberflächendefekten auf Objektoberflächen, insbesondere auf Waferoberflächen, bei dem der Oberflächendefekt einer vordefinierten Defektklasse zugeordnet wird, für die wenigstens eine Eigenschaftsinformation aus der Gruppe zwingender Konditionen und Eigenschaftswertverteilungen hinterlegt ist, mit den Schritten:
  - Ermitteln von Werten bestimmter Defekteigenschaften des Oberflächendefektes,
  - Prüfen der ermittelten Defekteigenschaftswerte auf Erfüllung der zwingenden Konditionen, wenn wenigstens eine zwingende Kondition hinterlegt ist,
  - Bejahen der Zugehörigkeit zu der Defektklasse, wenn die zwingenden Konditionen erfüllt sind und keine Eigenschaftswertverteilung für die Defektklasse hinterlegt ist und
  - Bestimmen eines Wahrscheinlichkeitswertes für die Zugehörigkeit des Oberflächendefektes zu der Defektklasse durch Vergleich der Eigenschaftswertverteilungen mit den ermittelten Defekteigenschaftswerten, wenn wenigstens eine Eigenschaftswertverteilung für die Defektklasse hinterlegt ist.
  
9. Klassifizierungsverfahren nach Anspruch 8, welches für wenigstens zwei Defektklassen durchgeführt wird, **gekennzeichnet durch**
  - Zuordnen des Oberflächendefektes zu einer Defektklasse in Abhängigkeit von dem Wahrscheinlichkeitswert, wenn keine zwingende Kondition hinterlegt ist oder wenn die zwingen-

den Konditionen erfüllt sind und wenigstens eine Eigenschaftswertverteilung für die Defektklasse hinterlegt ist.

10. Klassifizierungsverfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**,  
dass das Zuordnen des Oberflächendefektes zu derjenigen Defektklasse erfolgt, für die der höchste Wahrscheinlichkeitswert bestimmt wurde.
11. Klassifizierungsverfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**,  
dass das Bestimmen des Wahrscheinlichkeitswertes nicht erfolgt, wenn die zwingenden Konditionen nicht erfüllt sind.
12. Klassifizierungsverfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**,  
dass beim Bestimmen des Wahrscheinlichkeitswertes für eine Defektklasse in jede hinterlegte Eigenschaftswertverteilung der entsprechende ermittelte Defekteigenschaftswert eingesetzt wird und die zugeordnete Eigenschaftswahrscheinlichkeit ermittelt wird.
13. Klassifizierungsverfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**,  
dass der Wahrscheinlichkeitswert durch Verknüpfen der Eigenschaftswahrscheinlichkeiten einer Defektklasse ermittelt wird.
14. Klassifizierungsverfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**,  
dass der Wahrscheinlichkeitswert durch Multiplizieren der Eigenschaftswahrscheinlichkeiten oder durch Mittelwertbildung über

die Eigenschaftswahrscheinlichkeiten einer Defektklasse ermittelt wird.

15. Computerprogrammprodukt zur Klassifizierung von Oberflächendefekten auf Objektoberflächen nach vordefinierten Defektklassen, für welche jeweils wenigstens eine Eigenschaftsinformation aus der Gruppe zwingender Konditionen und Eigenschaftswertverteilungen hinterlegt ist, welches Computerprogrammprodukt eingerichtet ist, Werte bestimmter Defekteigenschaften des Oberflächendefektes zu ermitteln, die ermittelten Defekteigenenschaftswerte auf Erfüllung zwingender Konditionen zu prüfen, wenn wenigstens eine zwingende Kondition für die Defektklasse hinterlegt ist, die Zugehörigkeit zu der Defektklasse zu bejahen, wenn die zwingenden Konditionen erfüllt sind und keine Eigenschaftswertverteilung für die Defektklasse hinterlegt ist und einen Wahrscheinlichkeitswert für die Zugehörigkeit des Oberflächendefektes zu der Defektklasse durch Vergleich der Eigenschaftswertverteilungen mit den ermittelten Defekteigenenschaftswerten zu bestimmen, wenn wenigstens eine Eigenschaftswertverteilung für die Defektklasse hinterlegt ist.

Fig. 1

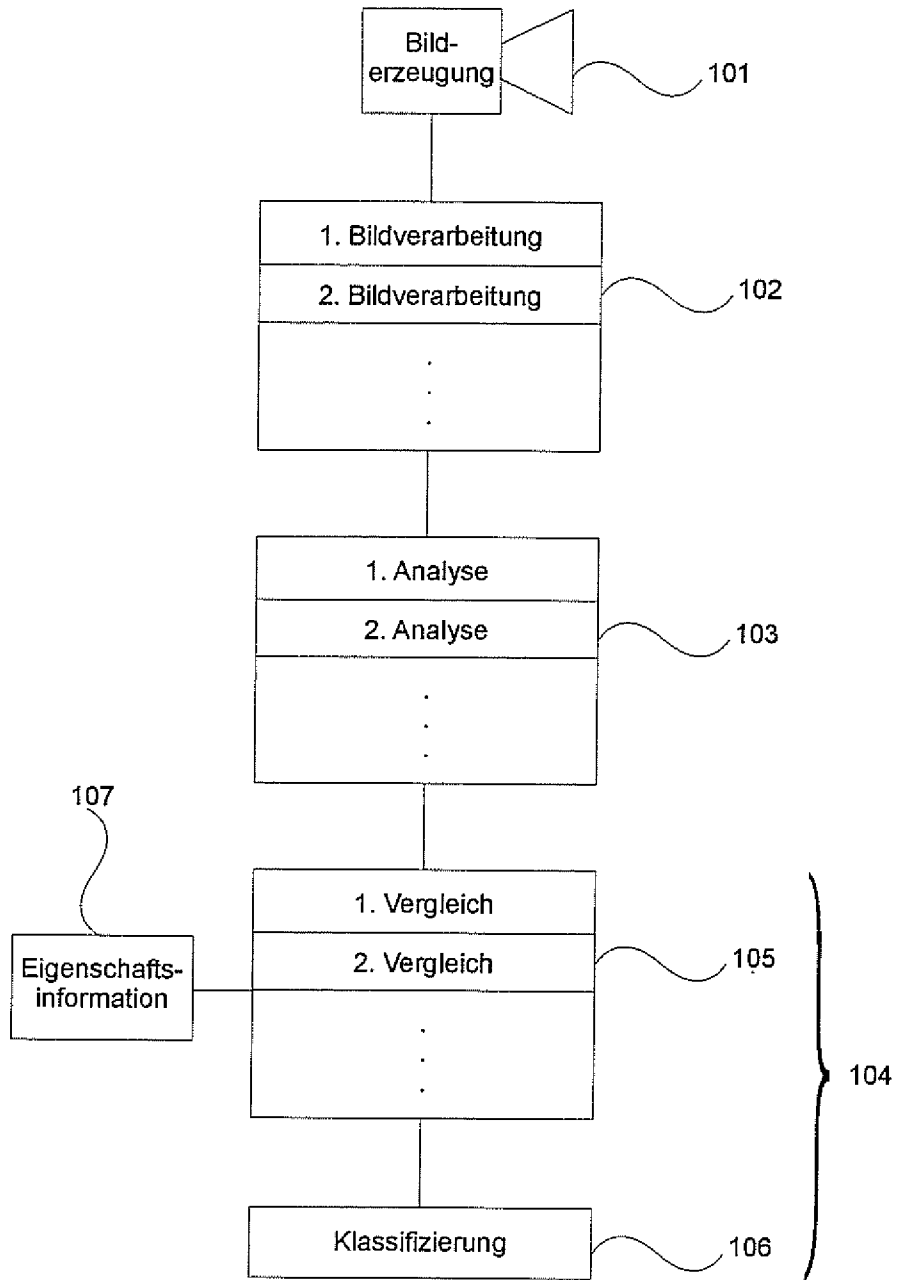


Fig. 2

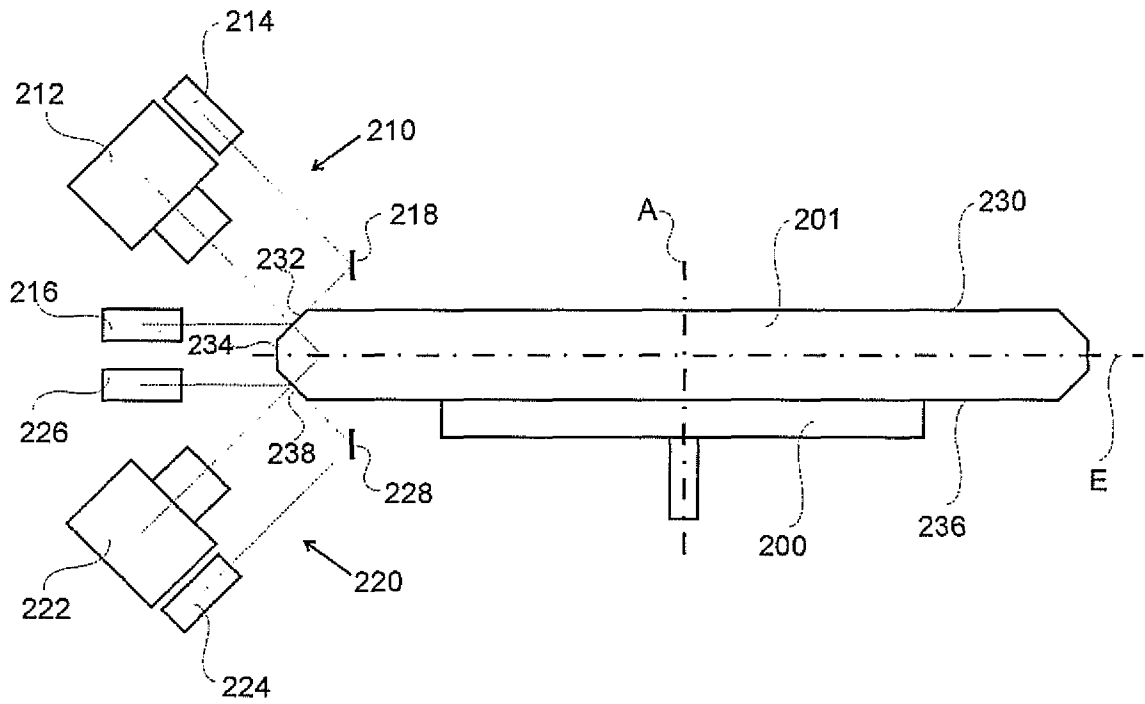


Fig. 3A

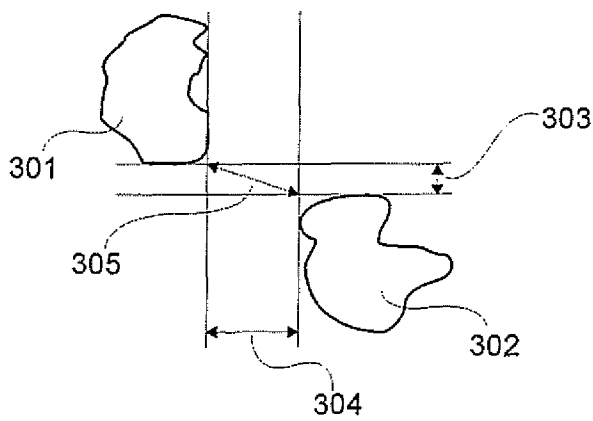


Fig. 3B

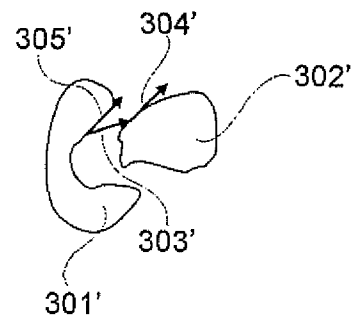


Fig. 4

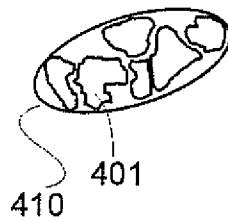


Fig. 5

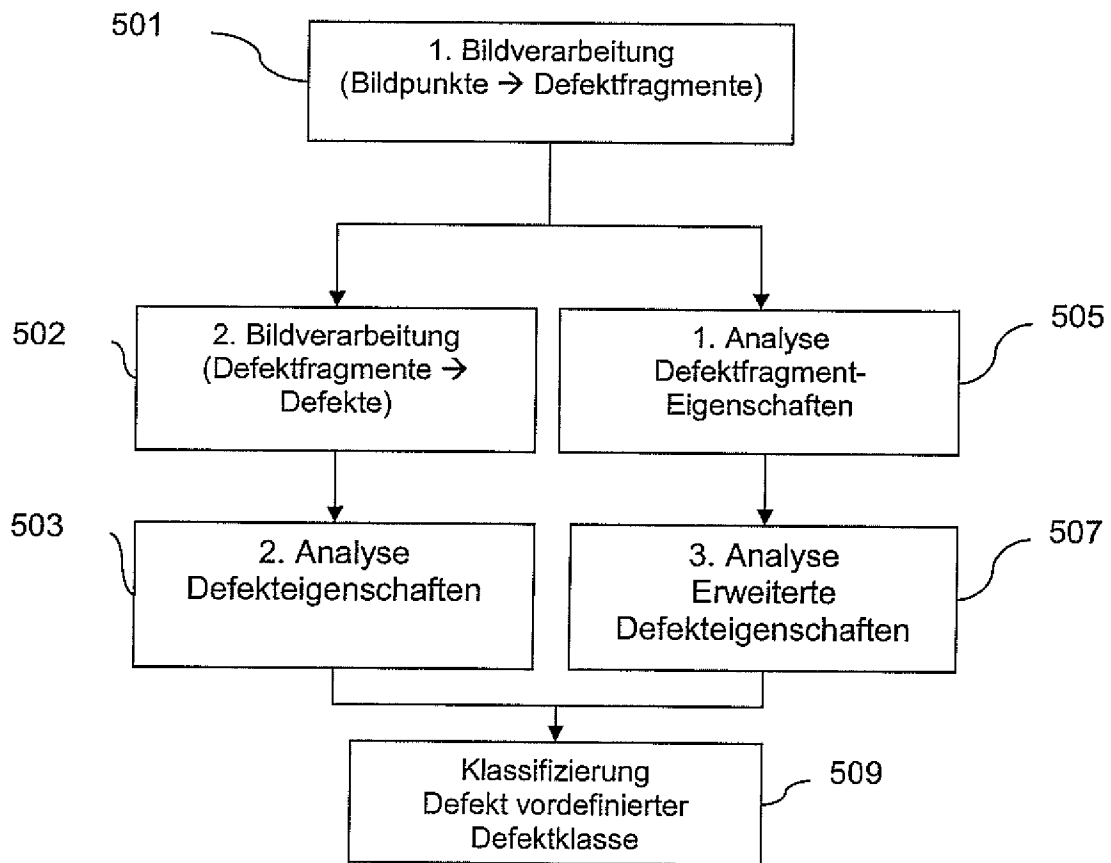
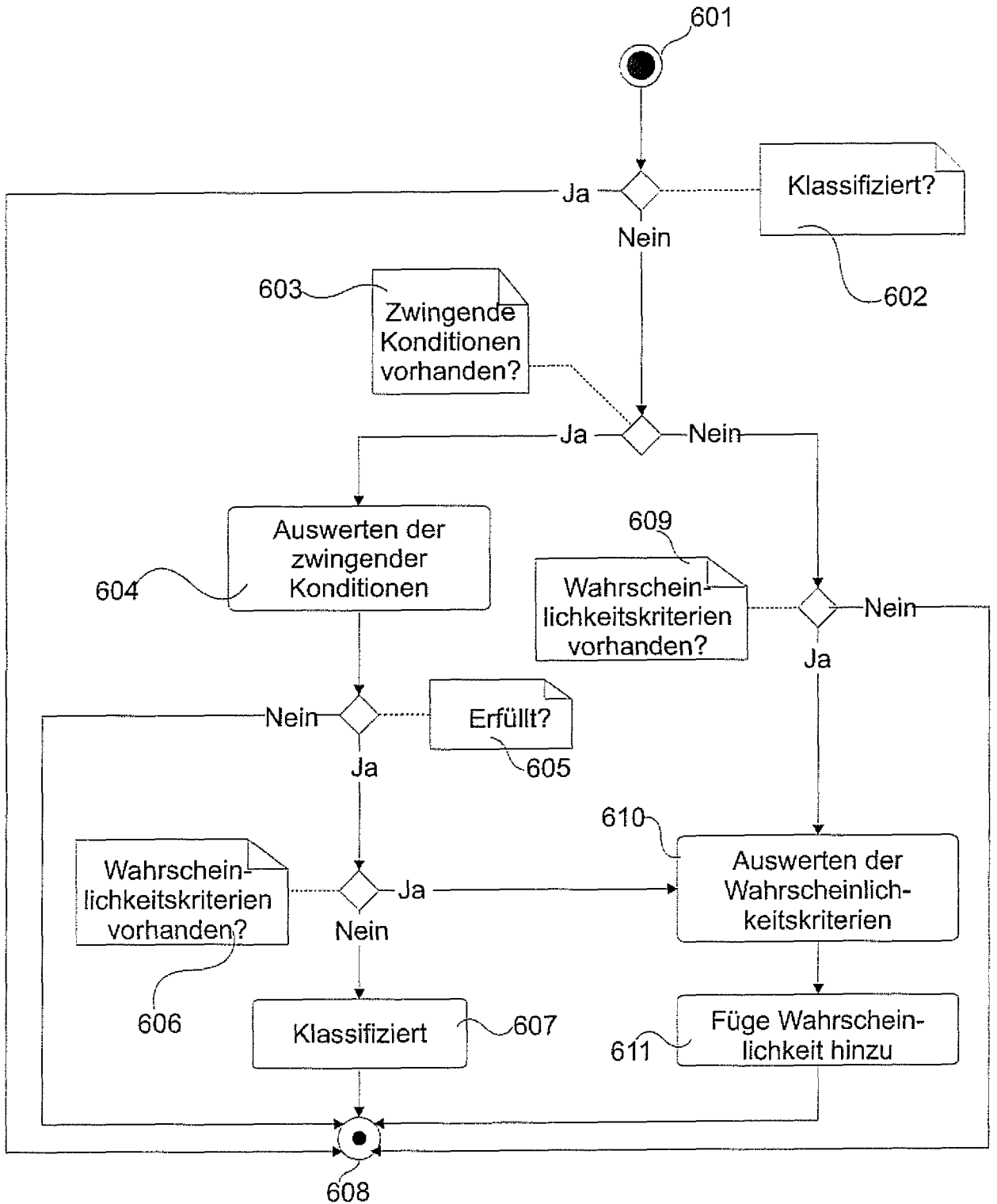


Fig. 6



**Fig. 7**

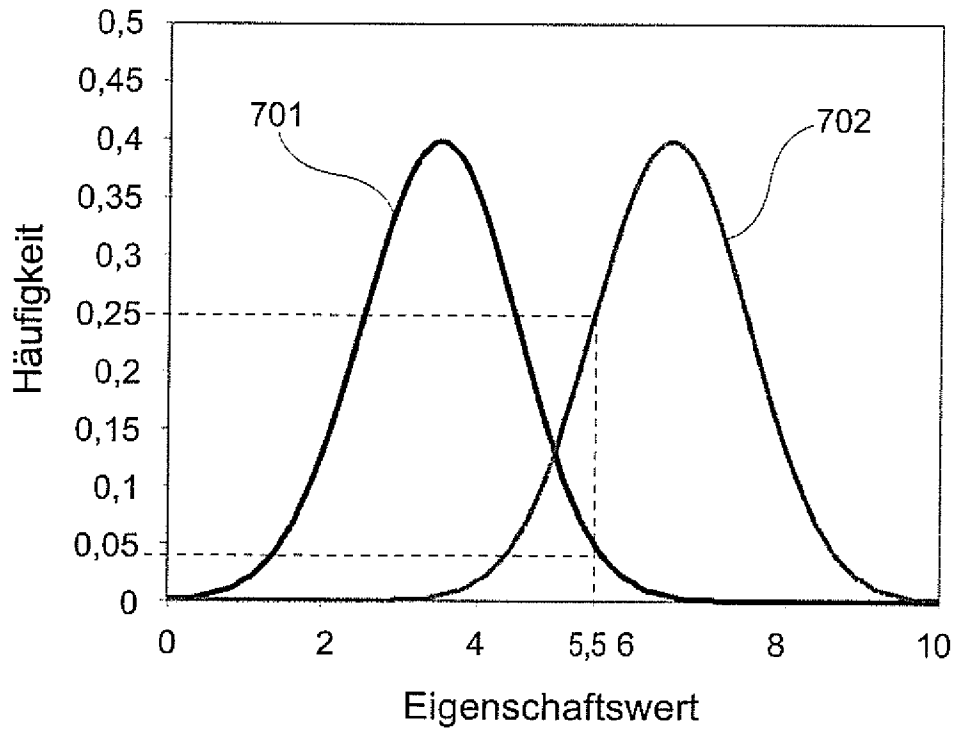


Fig. 8

