



(10) **DE 11 2018 000 764 B4** 2026.02.05

(12) **Patentschrift**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2018 000 764.2**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2018/017273**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2018/148318**
(86) PCT-Anmeldetag: **07.02.2018**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **16.08.2018**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **19.12.2019**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **05.02.2026**

(51) Int Cl.: **H10P 74/00 (2026.01)**
H10P 72/00 (2026.01)
H10P 95/00 (2026.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:

62/457,781	10.02.2017	US
62/591,088	27.11.2017	US

(73) Patentinhaber:

KLA Corp., Milpitas, CA, US

(74) Vertreter:

**Reichert & Lindner Partnerschaft Patentanwälte,
93049 Regensburg, DE**

(72) Erfinder:

**Grunzweig, Tzahi, Hillsboro, OR, US; Gutman,
Nadav, Zichron Ya'akov, IL; Staniunas, Claire E.,
Forest Grove, OR, US; Marciano, Tal, Yokneam, IL;
Shuall, Nimrod, Beaverton, OR, US**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	2007 / 0 222 464	A1
US	2020 / 0 191 657	A1
JP	2006 - 258 445	A
JP	2003 - 332 396	A

(54) Bezeichnung: **IDENTIFIZIERUNG VON PROZESSVARIATIONEN WÄHREND DER HERSTELLUNG VON
PRODUKTEN**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Identifizierung von Prozessvariationen während eines Herstellungsprozesses eines Produkts (103), umfassend:

dass in einem vorbestimmten Stadium während der Herstellung eines ersten Produkts (103) mittels eines Abbildungssystems (100) mehrere Bilder eines Bereichs des ersten Produkts (103) unter Verwendung verschiedener Werte mindestens eines Abbildungsparameters erzeugt werden;

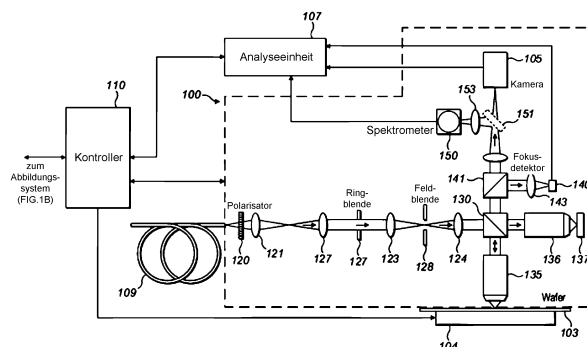
dass die Bilder des Bereichs des ersten Produkts (103) analysiert werden, um eine erste Kontrastsignatur für das erste Produkt (103) zu erzeugen, die die Variationen des Kontrasts der Bilder des Bereichs des ersten Produkts (103) mit dem mindestens einen Abbildungsparameter darstellen;

dass in einem vorbestimmten Stadium während der Herstellung eines zweiten Produkts (103) mehrere Bilder eines Bereichs des zweiten Produkts, der dem Bereich des ersten Produkts (103) entspricht, unter Verwendung verschiedener Werte des mindestens einen Abbildungsparameters erzeugt werden;

dass die Bilder des Bereichs des zweiten Produkts (103) analysiert werden, um eine zweite Kontrastsignatur für das zweite Produkt (103) zu erzeugen, die die Variationen des Kontrasts der Bilder des Bereichs des zweiten Pro-

dukts (103) mit dem mindestens einen Abbildungsparameter darstellen; und

dass die ersten und zweiten Kontrastsignaturen verglichen werden, um zu identifizieren, ob zwischen der Herstellung des ersten und des zweiten Produkts (103) eine Prozessvariation aufgetreten ist.



Beschreibung**QUERVERWEIS AUF VERWANDTE
ANMELDUNGEN**

[0001] Die vorliegende Patentanmeldung beansprucht die Priorität der provisorischen US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 62/457,781, angemeldet am 10. Februar 2017 und der provisorischen US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 62/591,088, angemeldet am 27. November 2017.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG**1. TECHNISCHES GEBIET**

[0002] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Qualitätskontrolle im Herstellungsverfahren.

2. DISKUSSION DES STANDES DER TECHNIK

[0003] Bei Herstellungsverfahren werden Qualitätskontrollsysteme und Verfahren verwendet, um Variationen bei der Herstellung von einem Gegenstand und einem anderen zu identifizieren, um die Konsistenz des Prozesses sicherzustellen. Manchmal sind solche Variationen bzw. Schwankungen nur im fertigen Produkt erkennbar oder sind nicht erkennbar und werden erst offensichtlich, nachdem viel Ausschussware produziert wurde. Halbleiterbauelemente, wie z. B. integrierte Schaltungen, können in Form eines Wafers hergestellt werden, der viele Komponenten enthält. Halbleiterwafer, wie beispielsweise Siliziumwafer, können in einer Reihe von Schichten hergestellt werden, wobei jede Schicht aus einem Muster besteht, das genau in Bezug auf das Muster in den benachbarten Schichten angeordnet sein muss. Die Steuerung dieser Positionierung wird als Overlay-Steuerung bezeichnet. In einigen Halbleiterherstellungsverfahren und Lithografie-Verfahren wird ein Metrologie-Target auf dem Wafer bereitgestellt, um bei Verwendung eine Musterausrichtung sicherzustellen. Das Target kann die Form eines Satzes von Zellen annehmen, wie beispielsweise ein 2x2-Array aus rechteckigen oder quadratischen Zellen. Zwei Zellen werden für die Overlay-Messung in der X-Richtung und zwei Zellen werden für die Overlay-Messung in der Y-Richtung verwendet. Das Target kann ein Beugungsgitter umfassen. Zum Beispiel kann jede Zelle in einem Target aus einem Beugungsgitter bestehen. Ein Target kann aus einem Satz von Mustern bestehen, wobei jedes Muster in einer anderen Schicht gedruckt und orientiert sein kann, so dass Messungen in verschiedenen Richtungen, typischerweise X und Y, möglich sind.

[0004] In jedem Herstellungsverfahren können Prozessvariationen auftreten, die unerwünscht sein können. Um als Beispiel ein lithographisches Verfahren

zu nennen, kann eine Overlay-Messung, wie z. B. die Messung der Musterausrichtung, nicht eine Prozessvariation enthüllen, die beispielsweise eine Variation in der Dicke einer aufgetragenen Materialschicht ist. In manchen Fällen kann eine Prozessvariation zu Fehlmessung bei der Overlay-Messung führen. Daher besteht ein Bedarf für ein besseres Verständnis von Prozessvariationen und deren Auswirkungen.

[0005] Die JP 2006 - 258 445 A betrifft ein Defektinspektionsverfahren, bei dem ein erster Bereich und ein zweiter Bereich einer Substratoberfläche, auf der ein Schaltkreis ausgebildet ist, mit einem Elektronenstrahl beaufschlagt werden. Unterschiede in den Kontrastsignalen von dem ersten und dem zweiten Bereich werden zur Detektion eines Defekts genutzt.

[0006] Die JP 2003 - 332 396 A betrifft ein Inspektionsverfahren für ein Halbleiterbauelement, bei dem mittels eines Elektronenstrahls ein Kontrastbild einer Struktur sowie ein Kontrastbild einer Referenzstruktur erzeugt werden. In einem daraus gebildeten Vergleichsbild werden Abmessungen bestimmt.

[0007] Die US 2020 / 0 191 657 A1 beschreibt eine Vorrichtung zur Untersuchung einer Probe mit polarisiertem Licht. Über Spektralfilter an der Lichtquelle wird dabei eine spektrale Auflösung erreicht.

[0008] Die US 2007 / 0 222 464 A1 beschreibt ein Verfahren, bei dem ein Bereich einer Probe, der Defekte enthält, mit einem Elektronenstrahl abgerastert wird und dabei unter zwei unterschiedlichen Detektionskonfigurationen jeweils ein Inspektionsbild des Bereichs erhalten wird. Jedes Inspektionsbild wird mit einem jeweiligen Referenzbild verglichen, um ein jeweiliges binäres Spannungskontrastbild zu erhalten. Die binären Spannungskontrastbilder werden zur weiteren Defektanalyse verwendet.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0009] Das Folgende ist eine vereinfachte Zusammenfassung, die ein anfängliches Verständnis der Erfindung bereitstellt. Die Zusammenfassung identifiziert nicht notwendigerweise Schlüsselemente noch begrenzt diese den Umfang der Erfindung. Sie dient lediglich als eine Einführung für die nachfolgende Beschreibung.

[0010] Einige Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung stellen Verfahren und Systeme zur Identifizierung von Prozessvariationen bei der Herstellung von Produkten, wie z.B. Halbleiterwafern, zur Verfügung. Gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung kann eine „Kontrastsignatur“ für ein Produkt, wie beispielsweise einen Wafer oder einen Teil eines Wafers, zum Beispiel bei einer vorbestimmten

Stufe während der Herstellung erzeugt werden. Die Kontrastsignatur kann erzeugt werden, wenn ein Herstellungsprozess wie gewünscht betrieben wird, um beispielsweise als eine Referenz verwendet zu werden. Eine ähnliche Kontrastsignatur kann dann für ein anderes Produkt erzeugt werden, wie beispielsweise bei der gleichen Stufe des Herstellungsprozesses. Die Kontrastsignaturen können verglichen werden, um zu ermitteln, ob eine Prozessvariation aufgetreten ist.

[0011] Eine „Kontrastsignatur“ wird hierin definiert als eine Darstellung der Variation des Kontrastes in einem Bild in Bezug auf mindestens einen Abbildungsparameter. Jedes bekannte Maß für Bildkontrast kann verwendet werden. Die Darstellung kann graphisch sein, und kann beispielsweise einem Benutzer angezeigt werden, oder sie kann mathematisch dargestellt werden, zum Beispiel als ein Vektor oder in irgendeiner anderen Art und Weise, in der sie mit einer anderen Kontrastsignatur verglichen werden kann, beispielsweise durch einen Prozessor in einem Computersystem. Somit kann gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung eine Prozessvariation automatisch identifiziert werden. Gegebenenfalls kann in Reaktion auf die Identifizierung einer Variation ein Alarm erzeugt werden oder einige Gegenmaßnahmen können stattfinden.

[0012] Die Ausführungsformen der Erfindung sind nicht auf die Produktion von Halbleiterwafern beschränkt. Die Erfindung kann in der Herstellung von vielen anderen Produkten verwendet werden.

[0013] Diese zusätzlichen und/oder anderen Aspekte und/oder Vorteile der vorliegenden Erfindung werden in der folgenden, detaillierten Beschreibung dargelegt. Gegebenenfalls können die Aspekte und/oder Vorteile der vorliegenden Erfindung aus der detaillierten Beschreibung abgeleitet werden und/oder können durch praktische Anwendung der vorliegenden Erfindung erlernt werden.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0014] Zum besseren Verständnis der Ausführungsform der Erfindung und um zu zeigen, wie dieselbe ausgeführt werden kann, wird nun lediglich beispielhaft auf die beigefügten Zeichnungen Bezug genommen, in denen gleiche Bezugszeichen entsprechende Elemente oder Abschnitte bezeichnen.

[0015] In den beigefügten Zeichnungen:

sind die **Fig. 1A** und **1B** schematische Darstellungen eines Systems, nach einigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung;

ist **Fig. 2A** ein Bild eines Metrologietargets, **Fig. 2B** ein vergrößertes Bild eines Teils des Targets und **Fig. 2C** eine grafische Darstellung der

Veränderung der Intensität entlang einer Linie, die das Bild aus **Fig. 2B** kreuzt, entsprechend einigen Ausführungsformen der Erfindung;

ist **Fig. 3A** ein schematisches Beispiel einer Kontrastkarte, **Fig. 3B** die Karte der **Fig. 3A**, bei der Linien mit Kontrastumkehr hinzugefügt sind und **Fig. 3C** zeigt nur die Kurven der Kontrastumkehr gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung;

zeigen die **Fig. 4A, 4B** und **4C** schematisch eine Verschiebung der Linien der Kontrastumkehr gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung;

ist **Fig. 5** eine schematische graphische Darstellung der Veränderung des Kontrasts mit der Wellenlänge, **Fig. 5B** eine grafische Darstellung, ähnlich der **Fig. 5A**, wobei bestimmte Punkte dargestellt sind, und **Fig. 5C** zeigt nur die ausgewählten Punkte, gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung;

ist **Fig. 6** ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zu einigen Ausführungsformen der Erfindung;

sind die **Fig. 7A - 7C** schematische Diagramme, die die Möglichkeit der Verwendung der numerischen Apertur als einen variablen Abbildungsparameter gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung zeigen.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0016] Vor der detaillierten Beschreibung kann es hilfreich sein, wenn Definitionen bestimmter Begriffe dargelegt werden, die im Folgenden verwendet werden.

[0017] In der folgenden Beschreibung werden verschiedene Aspekte der vorliegenden Erfindung beschrieben. Zum Zweck der Erläuterung werden spezifische Konfigurationen und Details dargelegt, um ein gründliches Verständnis der vorliegenden Erfindung zu schaffen. Allerdings wird es auch für den Fachmann auf dem Gebiet offensichtlich sein, dass die vorliegende Erfindung auch ohne der hierin dargestellten, spezifischen Einzelheiten ausgeführt werden kann. Weiterhin können wohl bekannte Merkmale weggelassen oder vereinfacht werden, um die vorliegende Erfindung nicht zu verschleiern. Unter besonderer Bezugnahme auf die Zeichnungen wird betont, dass die gezeigten Einzelheiten beispielhaft sind und nur zum Zwecke der veranschaulichenden Diskussion der vorliegenden Erfindung herangezogen werden. Die Zeichnungen werden in der Sache bereitgestellt, was als die nützlichste und leicht verständliche Beschreibung der Prinzipien und konzeptionellen Aspekte der Erfindung angesehen wird. In dieser Hinsicht wird kein Versuch unternommen, strukturelle Details der Erfindung zu zei-

gen, als es für ein grundsätzliches Verständnis der Erfindung notwendig ist. Die Beschreibung zusammen mit den Zeichnungen soll einem Fachmann offensichtlich machen, wie die verschiedenen Formen der Erfindung in der Praxis ausgeführt werden.

[0018] Bevor mindestens eine Ausführungsform der Erfindung im Detail erläutert wird, ist es selbstverständlich, dass die Erfindung nicht auf die Einzelheiten der Konstruktion in ihrer Anwendung und die Anordnung der in der folgenden Beschreibung aufgeführten Komponenten, oder wie in den Zeichnungen dargestellt, beschränkt ist. Die Erfindung kann auf andere Ausführungsformen angewendet werden, die auf verschiedene Weise oder in Kombinationen gemäß der offenbarten Ausführungsformen durchgeführt oder praktiziert werden können. Außerdem ist es zu verstehen, dass die verwendete Ausdrucksweise und Terminologie hier zum Zweck der Beschreibung dient und nicht als einschränkend angesehen werden kann.

[0019] Soweit nicht anders angegeben, können die in Bezug auf eine oder mehrere Ausführungsformen beschriebenen Merkmale der Erfindung optional in allen anderen Ausführungsformen der Erfindung enthalten sein.

[0020] Soweit nicht anders angegeben und wie aus den folgenden Diskussionen ersichtlich, wird es wertgeschätzt, dass im Zuge von Diskussionen bezüglich der Beschreibung sich die Begriffe wie „Verarbeiten“, „Computing“, „Berechnung“, „Bestimmung“, „Verbesserung“ oder dergleichen, auf die Aktion und/oder die Prozesse eines Computers oder Computersystems oder einer ähnlichen elektronischen Computereinrichtung beziehen, die Daten manipuliert und/oder transformiert, die als physikalische Größen, wie zum Beispiel elektronische Größen, innerhalb der Register und/oder der Speicher des Computersystems in andere, ähnlich dargestellte Daten transformiert werden, die als ähnlich repräsentierte physikalische Größen innerhalb des Computersystems in deren Speichern, Registern oder anderen solchen Informationsspeichern, Übertragungs- oder Anzeigevorrichtungen dargestellt werden.

[0021] Die **Fig. 1A** und **1B** sind schematische Darstellungen eines Systems nach einigen Ausführungsformen der Erfindung, das bei der Herstellung von Halbleiterwafern Verwendung findet. Systeme und Verfahren, wie hier beschrieben, können bei der Herstellung von anderen Produkten verwendet werden, zum Beispiel alle Produkte, die abgebildet werden, können eine Kontrastsignatur erzeugen, wie hierin weiter beschrieben ist. Die Wirksamkeit der Kontrastsignatur bei der Identifizierung von Prozessvariationen kann vom Typ des Produkts abhängig sein. Das System der **Fig. 1A** und **1B** kann verwendet werden, um Bilder eines Bereichs einer

Waferoberfläche unter Verwendung der unterschiedlichen Werte von einem oder mehreren Abbildungsparametern zu erhalten. Somit kann das System so konfiguriert sein, dass ein oder mehrere Abbildungsparameter variabel sind. Der Bereich kann ein Metrologie-Target, z.B. für die Overlay-Messung, wie beispielsweise ein Beugungsmuster oder Beugungsgitter, sein.

[0022] **Fig. 1A** zeigt ein Abbildungssystem 100, das derart ausgestaltet ist, dass Strahlung in Richtung der Oberfläche eines Wafers gerichtet wird, und dass vom Wafer reflektierte Strahlung empfangen wird, um Bilder des Wafers zu erzeugen. **Fig. 1B** zeigt ein Beleuchtungssystem 200, das verwendet werden kann, um Strahlung an die Abbildungseinheit der **Fig. 1A** zu liefern.

[0023] Bei dem Abbildungssystem 100 der **Fig. 1A**, wird Strahlung, wie z.B. sichtbares Licht, in Richtung auf die Oberfläche eines Produkts, in dieser Darstellung ein Wafer 103, gerichtet, das sich auf einem Träger 104 befindet. Die Strahlung kann auf ein Metrologie-Target gerichtet werden. Die von der Oberfläche des Wafers 103 reflektierte Strahlung wird empfangen und verwendet, um Bilder des Wafers, zum Beispiel in einer Kamera 105, zu erzeugen. Die Bilder können in einer Analyseeinheit 107 analysiert werden. Der Betrieb des Abbildungssystems kann mittels eines Controllers 110 gesteuert werden.

[0024] Die Strahlung kann an das Abbildungssystem 100 mittels einer optischen Faser 109 geliefert werden. Die Strahlung passiert den Polarisator 120 und Linsen 121-124, um auf einen Strahlteiler 130 zu treffen. Eine Ringblende 127 kann zwischen den Linsen 122 und 123 und eine Feldblende 128 kann zwischen den Linsen 123 und 124 positioniert werden, deren Funktionen Fachleuten auf dem entsprechenden Gebiet wohl bekannt sind. Ein Strahlteiler 130 kann die Strahlung derart aufteilen, dass ein Teil der Strahlung über ein Objektivlinsensystem 135 auf den Wafer 103 und ein anderer Teil der Strahlung über ein Objektivlinsensystem 136 auf einen Spiegel 137 gerichtet wird. Das gleiche Paar der Objektivlinsensysteme 135 und 136 kann die von dem Wafer 103 gestreute Strahlung und die vom Spiegel 137 reflektierte Strahlung sammeln. Der gleiche Strahlteiler 130 kann die Strahlung vom Wafer und dem Spiegel sammeln, um ein einziges Strahlungsfeld zu formen, dessen Details in einer Weise empfindlich bezüglich des Abstands zwischen dem Objektiv 135 und dem Wafer 103 (Fokus) sind, so dass die Unschärfe abgeleitet werden kann.

[0025] Ein Teil der kombinierten Strahlung kann auf einen Fokusdetektor 140 geleitet werden, dessen Funktion nachfolgend weiter beschrieben wird. Zum Beispiel kann ein Teil der kombinierten Strahlung auf

den Fokusdetektor 140 durch einen Strahlteiler 141 und die Linse 143 gerichtet werden. Ein Teil der reflektierten Strahlung kann zu einem Spektrometer 150 geleitet werden. Zum Beispiel kann ein Teil der reflektierten Strahlung zum Spektrometer 150 durch einen Strahlteiler 151 und die Linse 153 geleitet werden. Der Fokusdetektor 140 kann Fokussmessungen durchführen und Signale ausgeben, die für Messungen der Analyseeinheit 107 bezeichnend sind. In ähnlicher Weise führt das Spektrometer 150 Spektralmessungen durch und gibt Signale aus, die für Messungen der Analyseeinheit 107 bezeichnend sind.

[0026] Die Kamera 105 kann eine ladungsgekoppelte Vorrichtung oder ein „CCD“-Array sein. Die Kamera 105 kann angeordnet oder eingestellt werden, um ein Bild von der reflektierten Strahlung bei der „Bild“-Ebene zu formen, wie dies aus dem Stand der Technik bekannt ist. Beispielsweise kann der Wafer 103 ein Beugungsmuster auf seiner Oberfläche umfassen. In diesem Fall ist die reflektierte Strahlung eine von der Oberfläche des Wafers 103 gebeugte Strahlung.

[0027] Verschiedene der Komponenten, die einen Teil des Abbildungssystems 100 der **Fig. 1A** bilden, oder der Träger 104 des Wafers können relativ zueinander, beispielsweise durch einen oder mehrere Motoren, die dem Fachmann auf dem technischen Gebiet bekannt jedoch nicht dargestellt sind, bewegt werden. Die Arbeitsweise des Abbildungssystems 100, beispielsweise der Betrieb von Motoren, die einen Teil des Abbildungssystems 100 bilden, kann durch einen Kontroller 110 gesteuert werden. Die Arbeitsweise des Kontrollers 110 kann zum Teil auf Signalen der Analyseeinheit 107 basieren. Die Analyseeinheit 107 oder der Kontroller 110 oder beide können ein Computersystem umfassen, das einen oder mehrere Prozessoren besitzt. Zum Beispiel kann ein Prozessor in der Analyseeinheit gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung die Kontrastsignaturen erzeugen und vergleichen.

[0028] Gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung können Bilder eines Wafers unter Verwendung von unterschiedlichen Werten eines oder mehrerer Abbildungsparameter erhalten werden. Somit kann der Kontroller 110 das Abbildungssystem 100 steuern, um eine oder mehrere Abbildungsparameter zwischen aufeinanderfolgenden Bildaufnahmeprozessen zu variieren, wie beispielsweise eine Reihe von Bildern zu bilden, die in der Analyseeinheit 107 analysiert werden. So kann zum Beispiel der Kontroller 110 den Polarisator 120 steuern, um die Polarisation der Strahlung von einem Bild und einem anderen zu ändern. Der Kontroller kann die Position einer jeden beliebigen Linse oder des Trägers 104 für den Wafer steuern, wie beispielsweise die Linsen im Objektivlinsensystem 135 relativ zuei-

einander oder in Bezug auf den Träger 104 für den Wafer, um den Fokus zu verändern und dadurch eine Reihe von Bildern mit jeweils einem unterschiedlichen Fokusgrad zu erhalten. Der Kontroller kann den Betrieb der Ringblende 127 steuern, um die numerische Apertur zwischen einem Bild und einem anderen zu variieren. Die Ringblende kann als Doppelring ausgeführt werden, die im Detail mit Bezug auf die **Fig. 7A** bis **7C** beschrieben wird. Andere Abbildungsparameter, die gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung variiert werden können, umfassen, sind aber nicht darauf beschränkt, die zentrale Wellenlänge der Strahlung, die zum Beleuchten des Wafers verwendet wird, und die Bandbreite der Strahlung. Gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung ist es auch möglich, dass Kombinationen von Parametern variiert werden, um eine Kontrastsignature zu erzeugen, die die Variation des Kontrasts bei einer Parameterkombination darstellt,

[0029] Unter Bezugnahme auf **Fig. 1B** umfasst das Beleuchtungssystem 200 gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung eine Strahlungsquelle 203. Diese kann jede geeignete Strahlungsquelle sein, die Fachleuten auf dem Gebiet bekannt ist. Gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die Strahlungsquelle 203 mehrere Strahlungsquellen unterschiedlicher Wellenlängen und/oder Bandbreiten aufweisen, von denen ein oder mehrere beispielsweise ausgewählt werden können, um die Wellenlänge und/oder Bandbreite für die Beleuchtung des Produkts oder des Targets zu variieren.

[0030] Wie in **Fig. 1B** gezeigt ist, durchläuft die von der Quelle 203 kommende Strahlung eine Reihe von Linsen 210-214 und Filter 220-226 bis zu der optischen Faser 109. Im Betrieb kann das Beleuchtungssystem 200 einen oder mehr Abbildungsparameter variieren, wie beispielsweise Parameter, die, wenn sie variiert werden, eine Variation in einem von einer Bildaufnahmeverrichtung erfassten Bild verursachen. Hierzu kann beispielsweise die Strahlungsquelle 203 als eine Beleuchtungsquelle verwendet werden. Ein Beispiel eines Abbildungsparameters, der durch die Steuerung des Beleuchtungssystems variiert werden kann, ist die Wellenlänge der Strahlung. Ein Steuersystem für die Waferherstellung kann ein Beleuchtungssystem mit einer variablen Wellenlänge umfassen. In diesem Fall können einige Ausführungsformen der Erfindung in neuartiger Weise durch Betätigen eines bestehenden Systems, wie beispielsweise der vorhandenen Hardware, implementiert werden. Gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung kann eine neue Hardware oder Software, einschließlich der Komponenten, die die Wellenlänge der Strahlung variieren, verwendet werden, um einen Wafer, der abgebildet werden soll, zu beleuchten.

[0031] Bei dem in **Fig. 1B** dargestellten System können die Filter 222-226 in einem bestehenden Steuersystem für die Waferherstellung zum Beispiel einen Bandpass- und Gradientenfilter umfassen, deren Funktionen den Fachleuten bekannt sind. Die Filter 220 und 221 können verwendet werden, um die Wellenlänge der Strahlung, die dem Abbildungssystem 100 zugeführt wird, gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung zu variieren, sofern dies nicht durch Filter 222-226 erreicht werden kann.

[0032] In der Praxis kann ein Beleuchtungssystem eine auf unterschiedliche Weise polarisierte Strahlung verwenden. In diesem Fall kann die unterschiedlich polarisierte Strahlung entlang unterschiedlicher Kanäle von der Quelle 203 zu der optischen Faser 109 geleitet werden. Der Einfachheit halber ist in **Fig. 1B** nur ein Kanal veranschaulicht, aber es ist anzuerkennen, dass eine Anzahl von Kanälen in einem praxisnahen System der Anzahl von vorgesehenen Polarisierungen entsprechen kann.

[0033] Gemäß einiger Ausführungsformen der Erfindung, kann die zur Beleuchtung eines Produkts, wie z. B. eines Wafers 103, verwendete Wellenlänge der Strahlung auf jede bekannte Art und Weise der Wellenlängenvariation variiert werden. Ein System nach einigen Ausführungsformen der Erfindung kann eine mechanische Vorrichtung umfassen, um ein schmales Band von Wellenlängen des Lichts von einer Breitbandquelle zu filtern. Beispielsweise kann eine Breitbandstrahlungsquelle mechanisch mittels eines Prismas aufgespalten werden. Von dem aufgespaltenen Licht kann ein bestimmtes Wellenlängenband, oder eine Farbe, mechanisch, wie z.B. mittels eines Verschlussmechanismus, ausgewählt werden. In dem in **Fig. 1B** gezeigten Beispiel, können die Filter 211 und 212 Hochpass- bzw. Tiefpassfilter sein. Zusätzlich oder alternativ können die Filter 211 und 212 abstimmbare sein, wie aus dem Stand der Technik bekannt, um die Wellenlänge der Strahlung zu variieren.

[0034] Es wird einem Fachmann auf dem Gebiet der Optik klar sein, dass die Reihenfolge von einigen der Komponenten, die in den **Fig. 1A** und **1B** dargestellt sind, wie Linsen und Strahlteiler, variiert werden kann, während das System immer noch wie hierin beschrieben arbeiten kann. Insbesondere können einige der Komponenten des Abbildungssystems 100, wie dargestellt, einen Teil des Beleuchtungssystems 200 bilden und einige der Komponenten des Beleuchtungssystems 200 können einen Teil 100 des Abbildungssystems 100 bilden.

[0035] Entsprechend einiger Ausführungsformen der Erfindung können für einen bestimmten Wafer oder ein Gebiet des Wafers bei einem bestimmten Stadium im Herstellungsprozess Variationen des Bildkontrastes mit einem bildgebenden Parameter

analysiert werden, um eine Kontrastsignatur zu erzeugen. Eine Kontrastsignatur kann in der gleichen Art und Weise für ein entsprechendes Gebiet eines anderen Wafers beim gleichen Stadium im Herstellungsprozess erzeugt werden. Die Kontrastsignaturen können verglichen werden, um eine Variation im Herstellungsprozess zu identifizieren.

[0036] Die **Fig. 2A** bis **2C** sind Darstellungen zur Erläuterung zur Verwendung von Kontrast gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung.

[0037] **Fig. 2A** ist ein Bild eines aus dem Stand der Technik bekannten Metrologie-Targets, das auf einem Wafer zum Zweck der Overlay-Messung vorgesehen ist. **Fig. 2B** ist eine vergrößerte Ansicht einer Komponente 250 aus **Fig. 2A**, die beispielsweise mit einer bestimmten Schicht verknüpft sein kann. **Fig. 2B** zeigt, dass die Komponente eine visuelle Oszillation zwischen etwa zwei Werten („schwarz“ und „weiß“) aufweist. **Fig. 2C** ist eine gebildete, eindimensionale Darstellung der Target-Komponente 250, als ein „Kern“ bezeichnet, die durch die Addition der Zeilen des Bildes von der **Fig. 2B** gebildet ist (oder Spalten in Abhängigkeit von der Ausrichtung des Bauteils, oder allgemein Bereich von Interesse). Ein wie in **Fig. 2C** gezeigter Kern hat eine Struktur von Spitzen und Tälern, die der maximalen Intensität $I_{\max}$ und der minimalen Intensität $I_{\min}$ entsprechen.

[0038] Der Kontrast eines wiederholenden Musters ist ein Maß für die Sichtbarkeit des Musters. Ein Standardverfahren zur Quantifizierung oder Messung des Kontrasts ist mittels der „Michelson-Kontrast“-Definition:

$$\text{Kontrast} = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min}) \quad (1)$$

) wobei $I_{\max}$ und $I_{\min}$ die höchste bzw. die niedrigste Luminanz repräsentieren. Die Quantifizierung des Kontrasts gemäß dieser Gleichung liefert ein absolutes Maß für den Kontrast.

[0039] Für die Zwecke einiger Ausführungsformen dieser Erfindung ist es nützlich, ein Vorzeichen oder die Richtung, positiv oder negativ, dem Kontrast zuzuweisen. Dies wird hier als „gekennzeichneter Kontrast“ bezeichnet und ist bei der Identifizierung von „Kontrastumkehr“, wie hier weiter beschrieben, nützlich. Zum Beispiel, wenn die Anordnung der Spitzen und Täler so ist, dass die erste die $I_{\max}$ ist, wird das +Zeichen dem Michelson-Kontrast zugeordnet. Wenn die erste Spitze oder das Tal $I_{\min}$ ist, dann wird das -Zeichen dem Michelson-Kontrast zugeordnet. So kann bei jeder der hier beschriebenen Ausführungsformen der Erfindung das Vorzeichen der Kontrastsignatur die Richtung des Kontrastes anzeigen. Mit anderen Worten kann die Kontrastsignatur eher Variationen des registrierten Kontrasts anzei-

gen, als den Absolutwert oder den Betrag des Kontrastes.

[0040] Die Zuordnung eines + oder - zu der Kontrastmessung, wie oben beschrieben, ist eine von mehreren Möglichkeiten zur Unterscheidung von Kontrastmessungen. Jede andere Regelung kann zur Differenzierung verwendet werden. Die Kontrastsignatur zeigt an, ob der Kontrast positiv oder negativ ist, und kann daher zum Anzeigen der Kontrastumkehr verwendet werden, bei der sich der Kontrast von positiv zu negativ oder vice versa ändert sich. Dies wird nachstehend weiter erörtert.

[0041] Ausführungsformen der Erfindung sind unter Verwendung der obigen Gleichungen nicht alleine auf die Quantifizierung des Kontrasts beschränkt. Es gibt mehrere Möglichkeiten zur Quantifizierung des Kontrasts, wobei jede von ihnen verwendet werden kann.

[0042] In **Fig. 2B** ist eine Region von Interesse mit einem positiven Kontrast, entsprechend der vorstehenden Definition von positiven oder negativen Kontrast, gezeigt. Wenn die schwarzen und weißen Balken umgekehrt wären, würde dies als negativer Kontrast bestimmt werden. Die positiven und negativen Werte können der jeweils entgegengesetzten Richtung unter der Voraussetzung zugeordnet werden, dass die Inverse entgegengesetzt zu jedem ursprünglichen Kern gekennzeichnet ist.

[0043] Der Kontrast eines Bildes hängt von den Abbildungsparametern ab, die einschließlich, jedoch nicht darauf beschränkt, mit Bezug auf die in den **Fig. 1A** und **1B** erörterten Beleuchtungsdetails, wie z.B. numerische Apertur, Polarisierung, räumlicher Inhalt (z.B. Anordnung von Balken), Farbe (die lose als die spektrale Verteilung definiert sein kann - die durch die Wellenlänge und die Bandbreite charakterisiert werden kann) bestimmt werden. Es wurde entdeckt, dass einige Variationen in einem Herstellungsprozess für Halbleiter zu einem Unterschied in der Beziehung zwischen Kontrast und einem Abbildungsparameter führen. Daher kann gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung diese Beziehung für einen Wafer bestimmt werden und die Bestimmung kann, für einen anderen Wafer wiederholt werden, um festzustellen, ob eine Veränderung im Prozess aufgetreten ist. Diese Beziehung kann zumindest durch die Erzeugung einer Kontrastsignatur für einen Wafer oder einen Bereich des Wafers bestimmt werden, die die Variation des Kontrastes in einem Bild relativ zu einem Abbildungsparameter repräsentiert.

[0044] Die Kontrastsignatur kann Variation des Kontrasts in einem Bild in Bezug auf mindestens einen Abbildungsparameter darstellen. Die Darstellung kann graphisch, wie z.B. eine Karte oder ein Dia-

gramm, sein und kann gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung einem Benutzer angezeigt werden. Zusätzlich oder alternativ kann die Signatur eine mathematische Darstellung sein, wie z.B. ein Vektor oder eine Gleichung oder ein anderer mathematischer Ausdruck. Eine Kontrastsignatur kann in jeder Form vorliegen, in der sie mit einer anderen Kontrastsignatur, zum Beispiel, ohne aber darauf beschränkt zu sein, von einem Benutzer visuell oder von einem Prozessor in einem Computersystem verglichen werden kann.

[0045] Eine Kontrastsignatur kann zu einem Zeitpunkt oder einer Zeitspanne der Aufnahme der Bilder für einen Wafer charakteristisch sein.

[0046] Die Kontrastsignatur kann ein oder mehr Merkmale umfassen, und nach einigen Ausführungsbeispielen der Erfindung kann die Identifizierung einer Prozessvariation die Detektion einer oder mehrerer Merkmale im Kontrast der Signatur, wie beispielsweise eine Verschiebung beim Vergleich einer Signatur zu einer anderen, umfassen. Wenn zum Beispiel die Kontrastsignatur einen Graph umfasst, kann das Merkmal eine Spitze oder ein Tal oder einen Nulldurchgangspunkt umfassen. In dem speziellen Fall, in dem der Abbildungsparameter der Fokus ist, kann ein Merkmal in der Signatur von der Kontrastumkehr herrühren. Andere Merkmale einer Kontrastsignatur, die, ohne jedoch darauf beschränkt zu sein, verwendet werden können, um eine Kontrastsignatur mit einer anderen zu vergleichen, sind die Position des Maximums des Gradienten des Kontrastes/Kontrastsignatur, Position des maximalen Kontrasts oder ein bestimmter Wert des Kontrasts (d.h. Konturen des Kontrasts) und jede andere Charakteristik einer Kontrastkarte in Bezug auf Merkmale der „Maske“.

[0047] Die Kontrastumkehr ist ein bekannter Effekt, bei dem als ein Ergebnis der Defokussierung des Bildes eine periodische Funktion eine Inversion erfährt: z. B. in dem Beispiel der **Fig. 2B** werden die schwarzen Streifen zu weiß und gleichzeitig werden die weißen Streifen zu schwarz. Die Änderung des Kontrastes bei fortschreitender Defokussierung ist kontinuierlich und daher gibt es einen Punkt, in dem sowohl schwarz und weiß zu grau werden - und der Kontrast wird Null. Dies ist der Umkehrpunkt des Kontrasts. Mit Bezug auf **Fig. 1A** kann die Defokussierung beispielsweise dadurch erreicht werden, dass die Distanz zwischen dem Objektivlinsensystem 135 und dem Wafer 103 variiert wird. Ausgehend von einer geeigneten Distanz wird ein Bild, wie in **Fig. 2B** gezeigt, erzeugt und die Distanz kann kontinuierlich erhöht oder verringert werden, so dass in jeder Richtung eine Kontrastumkehr in dem Bild bei einer bestimmten Distanz auftreten kann.

[0048] Die **Fig. 3A-3C** veranschaulichen Ausführungsformen der Erfindung, bei denen eine Kontrastsignatur von Bildern erzeugt wird, bei denen zwei Abbildungsparameter variiert werden. In der besonderen in den Figuren gezeigten Ausführungsform sind die beiden Abbildungsparameter der variierte Fokus, der zum Beispiel in Bezug auf einen Abstand zwischen den optischen Komponenten gemessen wird, und die Wellenlänge. Die Erlangung, z.B. die Erfassung von Bildern unter Verwendung verschiedener Werte von mehr als einem Abbildungsparameter, kann auf verschiedene Weise erreicht werden. Zum Beispiel kann die Distanz als eine Komponente eingestellt werden und Bilder können bei verschiedenen Wellenlängen aufgenommen werden. Dann kann die Distanz als Komponente inkrementiert werden und wiederholt können Bilder bei verschiedenen Wellenlängen aufgenommen werden. Unter Bezugnahme auf **Fig. 1** kann diese Variation des Abbildungsparameters durch den Controller 110 mittels einer Steuerung des Betriebs des Beleuchtungssystems 200 und des Abbildungssystems 100 erreicht werden. Während des gesamten Prozesses ist der Wafer stationär bezüglich der seitlichen Richtungen, z.B. wird er nicht seitlich bewegt, um sicherzustellen, dass jedes Bild ein Bild des gleichen Teils des Wafers ist. Dieses Verfahren kann bei einem gleichen Wafer wiederholt werden, der den gleichen Prozess bei der gleichen Stufe im Prozess zu einem späteren Zeitpunkt durchlaufen hat. Dies kann beispielsweise durchgeführt werden, nachdem Wafer mit dem gleichen Verfahren hergestellt worden sind, um zu bestimmen, ob eine Prozessvariation aufgetreten ist.

[0049] Nachdem Bilder bei verschiedenen Werten von zwei Abbildungsparametern aufgenommen worden sind, kann eine Kontrastsignatur in Form einer dreidimensionalen Karte erzeugt werden, wobei die Abbildungsparameter und der Kontrast die drei Dimensionen darstellen. Zum Beispiel sind die x und y-Achse der Karte die Abbildungsparameter und der Kontrast kann in einer anderen Dimension, beispielsweise in der z-Achse oder durch Farbdarstellung oder in irgendeiner anderen Art und Weise, dargestellt werden. **Fig. 3A** zeigt ein schematisches Beispiel für eine solche Karte, wobei die Abbildungsparameter die Beleuchtungswellenlänge und der Fokus sind, die beispielsweise durch einen Abstand bestimmt sind, und der Kontrast wird entlang einer dritten Achse in dem dargestellten Beispiel in Form von Graustufen dargestellt. Das Ergebnis ist eine Konturkarte. In anderen Ausführungsformen der Erfindung können unterschiedliche Abbildungsparameter variiert werden und deshalb können diese unterschiedlichen Abbildungsparameter auf den Achsen angegeben werden.

[0050] Es wird darauf hingewiesen, dass es gemäß einigen Ausführungsbeispielen der Erfindung möglich ist, eine Konturkarte von der Art, wie in **Fig. 3A**

gezeigt, oder jede andere dreidimensionale Darstellung, mit anderen Bildern von dem entsprechenden Bereich eines anderen Wafers bei der gleichen Stufe der Herstellung zu vergleichen, um eine Prozessvariation zwischen der Herstellung der beiden Wafer zu identifizieren. In anderen Worten, kann eine Karte oder dreidimensionale Darstellung der Art, wie in **Fig. 3A** gezeigt, als Kontrastsignatur dienen. Beliebige bekannte Techniken einschließlich der Korrelationstechniken können für den Vergleich der Bilder verwendet werden, um eine Prozessvariation zu identifizieren.

[0051] Entsprechend einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die Kontrastsignatur für den Zweck des Vergleichs vereinfacht werden. In der Karte der **Fig. 3B** wurden Kurven der Kontrastumkehr hinzugefügt. Diese entsprechen den Punkten, an denen sich der Kontrast umkehrt, wie an anderer Stelle herein beschrieben ist. In dem schematischen Beispiel der **Fig. 3B** sind die Kurven der Kontrastumkehr gerade Linien. **Fig. 3C** ist eine grafische Darstellung, die nur die Linien der Kontrastumkehr zeigt. Andere Kontrastdaten wurden entfernt.

[0052] Die **Fig. 4A bis 4C** zeigen schematisch, wie eine Prozessvariation aus einer Kontrastsignatur identifiziert werden kann. Winzige Prozessvariationen, wie sie möglicherweise in einem Herstellungsprozess für Halbleiterwafer auftreten, führen zu einer Veränderung einer Kontrastsignatur für die Oberfläche des Wafers oder einen Teil der Oberfläche des Wafers. Das gleiche kann auch in anderen Fertigungsprozessen auftreten. Die Art der Signaturänderung kann in Beziehung mit der Art der Variation gesetzt werden. Wenn beispielsweise die Kontrastsignatur eine Kurve von der in **Fig. 3C** gezeigten Art ist, führen einige Prozessveränderungen bezüglich eines Abbildungsparameters oder mehrerer Abbildungsparameter zu einer Verschiebung eines Merkmals der Kontrastsignatur.

[0053] **Fig. 4A** ist ein Graph, der dem Graph aus **Fig. 3C** entspricht. Eine Prozessvariation eines bestimmten Typs kann eine Verschiebung in den Kontrastumkehrkurven in Bezug auf einen Abbildungsparameter, wie z.B. die Wellenlänge, zu einer neuen Position verursachen, wie in **Fig. 4B** gezeigt. Eine mit Vorzeichen versehene Kontrastsignatur, die für einen Wafer, der durch einen einer Variation unterliegenden Prozess hergestellt wurde, kann wie in **Fig. 4C** gezeigt aussehen. Die Kontrastsignaturen der **Fig. 4A** und **4C** können ohne weiteres, beispielsweise automatisch, in einem Computersystem verglichen werden, um die Prozessvariation zu identifizieren, damit anschließend die erforderlichen Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

[0054] Es sei darauf hingewiesen, dass die Ausführungsbeispiele der Erfindung nicht auf die Identifizie-

rung von Prozessvariationen beschränkt sind, die im Laufe der Zeit auftreten können, beispielsweise aufgrund von der Abnutzung von Maschinenteilen. Ausführungsformen der Erfindung können verwendet werden, um Variationen bei oder Unterschiede zwischen den Prozessen zu identifizieren, die zur gleichen Zeit ablaufen, wie zum Beispiel Prozesse, die parallel arbeiten.

[0055] Eine Kontrastsignatur kann mit nur einem Abbildungsparameter auf der Grundlage der Variation des Kontrasts erzeugt werden. Ein Beispiel ist in den **Fig. 5A - 5C** gezeigt. **Fig. 5A** ist ein Graph, der die Variation des Kontrasts in Abhängigkeit von Beleuchtungswellenlänge zeigt, die eine Kontrastsignatur bilden kann. In diesem Beispiel wird der mit Vorzeichen versehene Kontrast in einer Weise bestimmt, dass angezeigt wird, ob der Kontrast in Bezug auf einen vorbestimmten Graupegel positiv oder negativ ist. **Fig. 5A** approximiert ein Diagramm, das von der Karte der **Fig. 4A** abgeleitet werden könnte. Es wird aus einem Vergleich der **Fig. 4A** und **5A** ersichtlich, dass die Nulldurchgangspunkte der **Fig. 5A** den Umkehrlinien des Kontrasts der **Fig. 4A** entsprechen.

[0056] Wie bei den Karten der **Fig. 4A - 4C** gezeigt ist, kann, wie in **Fig. 5A** gezeigt, eine Kontrastsignatur auf ein Merkmal oder mehrere Merkmale reduziert werden. **Fig. 5B** zeigt die Nulldurchgangspunkte auf der graphischen Darstellung der **Fig. 5A**. **Fig. 5C** zeigt nur die Nulldurchgangspunkte, die ausreichend sein können, um eine Kontrastsignatur zu bilden. Die Nulldurchgangspunkte können zwischen einem Wafer und einem weiteren Wafer in der gleichen Weise wie die Kontrastumkehr-Kurven verschoben werden und können damit zur Identifizierung einer Prozessvariation verwendet werden.

[0057] Aus **Fig. 5B** ist ersichtlich, dass die genaue Position, an der die Kontrastumkehr auftritt, besonders bezüglich einer Änderung beim Abbildungsparameter empfindlich ist. Eine kleine Änderung der Wellenlänge wird zu einer großen Kontraständerung führen. Das gleiche gilt für jeden Bereich auf einem Diagramm oder einer Karte, in der die Änderungsrate des Kontrastes relativ groß ist. Daher liefert die Wahl von Punkten oder Bereichen mit einer hohen Änderungsrate, wie z.B. Kontrastumkehrpunkte für den Vergleich einer Signatur mit einer anderen Signatur, eine hochempfindliche Messung des Unterschieds in der Kontrastsignatur, die zur Identifizierung von kleinen Veränderungen im Prozess verwendet werden können.

[0058] Die Bedeutung der Beleuchtungsparameter, die am empfindlichsten für Änderungen sind, ist im Gegensatz zu der bei Overlay-Messtechniken, bei denen Bilder mit hohem Kontrast gewünscht sind und Abbildungsparameter derart gewählt werden

können, dass sie die geringste Wirkung auf den Kontrast haben. Zum Beispiel, unter erneuter Bezugnahme auf **Fig. 5B**, wird die Wahl der Wellenlänge für die Aufnahme der Bilder für die Overlay-Messung wahrscheinlich an jeder der Spitzen in der Kurve getroffen, wo die Geschwindigkeit der Änderung des Kontrastes mit der Wellenlänge am niedrigsten ist.

[0059] Die Identifizierung von Prozessschwankungen mittels der Verwendung von Kontrastsignaturen gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung können verwendet werden, um Prozessvariationen zu identifizieren, die bei der Overlay-Messung nicht nachweisbar sind. Dies sind beispielsweise, ohne jedoch darauf beschränkt zu sein, Variationen in der Schichtdicke und Variationen in den optischen Eigenschaften von Materialien, wie beispielsweise dem Brechungsindex.

[0060] **Fig. 6** ist ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung. Das Verfahren der **Fig. 6** beginnt bei der Operation 600, bei einer vorbestimmten Stufe in der Herstellung eines ersten Produkts, bei der Bilder von einem Gebiet des Produkts unter Verwendung von unterschiedlichen Werten eines oder mehrerer Abbildungsparameter, wie z.B. dem Fokus oder der Wellenlänge oder beiden, erhalten werden. Die Begriffe „erste“, „zweite“, usw. werden hier einfach dazu verwendet, um ein Produkt von einem anderen zu unterscheiden und nicht notwendigerweise eine zeitliche oder andere Reihenfolge implizieren. Die Bilder können bei der Operation 605 analysiert werden, um eine erste Kontrastsignatur für das erste Produkt zu erzeugen, was Variation des Kontrasts von einem oder mehreren Abbildungsparametern darstellt.

[0061] Zur gleichen vorbestimmten Stufe in der Herstellung eines zweiten Produkts, die später oder früher oder parallel mit der Herstellung des ersten Produktes laufen kann, wird eine weitere Operation der Aufnahme von Bildern bei der Operation 610 durchgeführt, wobei verschiedene Werte desselben einen oder derselben mehreren Abbildungsparameter verwendet werden. Die Bilder, welche bei der Operation 610 erhalten werden, werden bei der Operation 615 analysiert, um eine zweite Kontrastsignatur für das zweite Produkt zu erzeugen, die Variationen des Kontrasts bezüglich eines oder mehrerer Abbildungsparameter anzeigt.

[0062] Entsprechend einigen Ausführungsformen der Erfindung werden die Produkte in Chargen hergestellt. Die ersten und zweiten Produkte sind aus verschiedenen Chargen.

[0063] Die Kontrastsignaturen werden bei der Operation 620 verglichen, um zu identifizieren, ob eine

Variation im Prozess zwischen der Herstellung der ersten und zweiten Produkte aufgetreten ist. Gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung kann eine Warnung generiert werden, wenn eine Prozessvariation von mehr als einer vorbestimmten Größe identifiziert wird. Zum Beispiel kann ein Unterschied in der Kontrastsignatur, wie beispielsweise eine Differenz in der Position von einem oder mehreren Merkmalen in den Kontrastsignaturen, mit einem vorbestimmten Schwellwert verglichen werden. Eine Warnung wird generiert, wenn die Differenz den Schwellenwert überschreitet.

[0064] Ausführungsformen der Erfindung können auch verwendet werden, um den Fortschritt einer Prozessvariation zu überwachen und beispielsweise seinen Fortschritt als Funktion der Zeit darzustellen. Dies kann dann mit den Steuerparametern des Prozesses mit Hilfe von Graphen korreliert werden, wie beispielsweise, ohne aber nicht darauf beschränkt zu sein, die Temperatur des Wafers während der Ätzung. Dies kann verwendet werden, um die Ursache einer Variation zu analysieren.

[0065] Die Aufnahme von Bildern mit der Kamera 105 kann mittels des Betriebs des Kontrollers 110 durchgeführt werden. Die Analyse kann in der Analyseeinheit 107 durchgeführt werden und kann möglicherweise durch den Controller 107 gesteuert werden. Es kann möglich sein, bestehende Systeme zu modifizieren, um Verfahren nach einigen Ausführungsformen der Erfindung zu implementieren. Daher können einige Ausführungsformen der Erfindung ein computerlesbares Medium umfassen, das entweder transitorische oder nicht transitorische Anweisungen umfasst, die, wenn sie in einem Controller in einem Produktherstellungssystem implementiert sind, bewirken, dass das System nach den hier beschriebenen Verfahren arbeitet.

[0066] Die Operationen 600-620 können während der Herstellung von verschiedenen Paaren aus ersten und zweiten Wafern durchgeführt werden, um regelmäßig mögliche Variationen im Herstellungsprozess zu überwachen.

[0067] Die Fig. 7A - 7C sind schematische Diagramme, die die Verwendung von der numerischen Apertur als variable Abbildungsparameter gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung darstellen. Beispielsweise kann der in Verbindung mit Fig. 6 erwähnte Abbildungsparameter die numerische Apertur sein. Fig. 7A zeigt einen kollimierten Strahl einer Strahlung 700, der von einer Linse 710 auf die Oberfläche 712 einer Schicht 714 eines Wafers, wie beispielsweise Wafer 103, fokussiert wird. Aus dieser Figur wird klar, dass die Länge des Weges der Strahlung durch die Schicht 714 vom Einfallswinkel abhängt. Strahlung, die in die Schicht senkrecht zur Oberfläche eintritt, hat den kürzesten Weg durch die

Schicht, und die Weglänge nimmt von der Mitte des Strahls 700 nach außen hin zu.

[0068] Die numerische Apertur in einem optischen System kann den Anteil eines Strahls der Strahlung definieren, der durch jeden Teil des Systems hindurchgeht. Somit kann die numerische Apertur variiert werden, um einen Teil des Strahlungsbündels auszuschließen. Die Variation der numerischen Apertur hat die Wirkung, dass der Bereich der Einfallswinkel der Strahlung auf der Oberfläche des Produkts variiert werden kann. Gemäß einigen Ausführungsformen dieser Erfindung kann der bei Operation 605 variierte Abbildungsparameter einen Einfallswinkel oder einen Bereich von Einfallswinkeln auf der Oberfläche des Produktes umfassen, die zum Beispiel mittels einer Variation der numerischen Apertur im Bereich der Einfallswinkel beschränkt werden. Diese Variation kann verwendet werden, um unterschiedliche Kontrastsignaturen in ähnlicher Weise, wie hierin beschrieben, durch eine Variation der Wellenlänge zu erzeugen.

[0069] Die Begrenzung des Bereichs von Einfallswinkeln kann für den Winkelbereich außer der Senkrechten, bei der einfallenden Strahlung zu einem ringförmigen Strahl führen. Die Fig. 7B und 7C zeigen die gleiche Anordnung wie Fig. 7A, außer dass der Strahl 700 zu ringförmigen Strahlen 720 und 730 reduziert wird, die unterschiedliche Radien R1 bzw. R2 und Breiten A1 bzw. A2 aufweisen, die auch gleich sein können. Die maximale Weglänge P1 des Strahls 720 durch die Schicht 714 ist länger, als die maximale Weglänge P2 des Strahls 730 durch die Schicht 714. Es ist für einen Fachmann auf dem Gebiet klar, dass Veränderungen der Weglänge durch ein sehr dünnes Target, wie z.B. bei der Halbleiterherstellung, einen ähnlichen Effekt wie die Variation der Wellenlänge der einfallenden Strahlung aufweist. Daher kann die Variation des Einfallswinkels verwendet werden, um eine ähnliche Kontrastsignatur zu dem in den Fig. 3A - 3C gezeigten, zu erzeugen.

[0070] Wie hier an anderer Stelle erwähnt, können andere Abbildungsparameter, als die Wellenlänge und Apertur oder Einfallswinkel gemäß den Ausführungsformen der Erfindung variiert werden, um Kontrastsignaturen zu erzeugen.

[0071] Systeme und Verfahren gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung können verwendet werden, um Prozessvariationen zu identifizieren, die dann untersucht und gegebenenfalls korrigiert werden können. Zum Beispiel kann eine Veränderung quantifiziert werden, wie beispielsweise Größe der Verschiebung der Kontrastumkehr in Bezug auf einen Abbildungsparameter, und es kann festgestellt werden, dass bei einer Variation über einem Schwellenwert eine Untersuchung erforderlich ist. Die Art

einer Variation kann nicht unmittelbar aus einer Differenz in der Kontrastsignatur ersichtlich sein und es kann erforderlich sein, dass zusätzliche Messungen an einem oder beiden der Produkten, von denen die Kontrastsignatur erzeugt wurde, durchzuführen sind, um zu bestimmen, was die Variation war.

[0072] Sobald jedoch die Art der Variation, wie beispielsweise die Erhöhung oder Verringerung der Schichtdicke, bestimmt ist, kann diese verwendet werden, um eine Wissensdatenbank auszubauen, die Typen von unterschiedlichen Kontrastsignaturen mit Typen der Prozessvariation korreliert und gegebenenfalls auch das Maß des Unterschieds der Kontrastsignatur zu einem gewissen Maß der Variation im Prozess, wie beispielsweise der Schichtdicke, in Beziehung zu setzen. Andere der identifiziert Prozessvariationen können, sind aber nicht darauf beschränkt, die Zusammensetzung einer Schicht und die optischen Parameter einer Schicht umfassen. Gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung kann eine Prozessvariation beispielsweise aus dem Maß einer Änderung der Kontrastsignatur identifiziert werden, die größer ist als eine vorbestimmte Schwelle. Gegebenenfalls kann eine Warnung in Reaktion auf die Identifizierung einer Prozessvariation erzeugt werden, um einen beispielsweise Bediener, zum Beispiel einen Mensch, zu einer abhelfenden Aktion zu veranlassen.

[0073] Die Identifizierung einer Prozessvariation kann durch die Durchführung einer oder mehrerer Messungen an einem Produkt erfolgen, um die Art der Variation zu bestimmen. Diese Bestimmung kann verwendet werden, um automatisch die Art einer in einem zukünftigen Prozess identifizierten Variation zu identifizieren. Somit kann gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung die Natur einer Prozessvariation automatisch aus einer Differenz in der Kontrastsignatur bestimmt werden. Zusätzlich oder alternativ kann das Maß einer Variation anhand eines Unterschieds in der Kontrastsignatur bestimmt werden. Ein hier diskutierter Unterschied ist eine Verschiebung in der Kontrastumkehr. Die Ausführungsformen der Erfindung sind nicht auf diesen Unterschied und andere Unterschiede der Kontrastsignatur beschränkt und können in einem Herstellungsprozess andere Variationen identifizieren und auf andere Variationen zurückgeführt werden. Historische Daten aus früheren Verfahren können verwendet werden, um Differenzen in der Kontrastsignatur den verschiedenen Arten und wahlweise dem Maß der Variationen zuzuweisen, um Variationen der verschiedenen Arten und gegebenenfalls Maßes zu verarbeiten. Gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung kann maschinelles Lernen verwendet werden, um die Zuverlässigkeit der Zuordnungen von Unterschieden zu Variationen zu verbessern.

[0074] Die Aspekte der vorliegenden Erfindung wurden oben unter Bezugnahme auf Darstellungen eines Flussdiagramms und/oder Abschnittdiagramme von Verfahren, Vorrichtungen (Systeme) und Computerprogrammprodukten gemäß Ausführungsformen der Erfindung beschrieben. Es versteht sich, dass jeder Teil der Darstellungen des Flussdiagramms und/oder Abschnittdiagramme und Kombinationen von Teilen in den Flussdiagrammdarstellungen und/oder der Abschnittdiagramme durch Computerprogrammanweisungen implementiert werden können. Diese Computerprogrammanweisungen können einem Prozessor eines Universalcomputers, eines Spezialcomputers oder einer anderen programmierbaren Vorrichtung zur Datenverarbeitung zur Verfügung gestellt werden, um eine Maschine zu erzeugen, so dass die Befehle, die über den Prozessor des Computers oder der anderen Vorrichtungen zur programmierbaren Datenverarbeitung ausgeführt werden, Mittel erzeugen, die zum Implementieren der in dem Flussdiagramm spezifizierten Funktionen/Handlungen und/oder in Teildiagrammen oder Teilen davon verwendet werden können.

[0075] Diese Computerprogrammbefehle können auch in einem computerlesbaren Medium gespeichert werden, die einen Computer, eine andere programmierbare Datenverarbeitungsvorrichtung oder andere Vorrichtungen in einer bestimmten Weise anweisen können, zu funktionieren, so dass die in dem computerlesbaren Medium gespeicherten Anweisungen einen Herstellungsartikel produzieren und dabei einschließlich Anweisungen, die die angegebenen Funktionen/Aktionen in dem Ablaufdiagramm und/oder einem Teildiagramm oder einen Teil davon verwenden.

[0076] Die Computerprogrammanweisungen können auch auf einen Computer, eine andere programmierbare Datenverarbeitungsvorrichtung oder andere Vorrichtungen geladen werden, die eine Reihe von Betriebsschritten auf dem Computer, einer anderen programmierbaren Vorrichtung oder anderen Vorrichtungen durchführt, um einen computerimplementierten Prozess zu erzeugen, so dass die auf dem Computer oder anderen programmierbaren Vorrichtung vorhandenen Anweisungen ausgeführt werden, damit die Funktionen/Handlungen in dem Ablaufdiagramm und/oder in einem Teildiagramm oder einem Teil davon implementiert werden.

[0077] Die zuvor erwähnten Flussdiagramme und Diagramme veranschaulichen die Architektur, Funktionalität und den Betrieb möglicher Implementierungen von Systemen, Verfahren und Computerprogrammprodukten gemäß verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung. In dieser Hinsicht stellt jeder Abschnitt in dem Ablaufplan oder Teildiagramm ein Modul, ein Segment

oder einen Codeabschnitt dar, die zum Implementieren der spezifizierten logischen Funktion(en) eine oder mehrere ausführbare Anweisungen umfasst. Es sollte auch angemerkt werden, dass bei einigen alternativen Implementierungen die in dem Abschnitt angegebenen Funktionen außerhalb der in den Figuren angegebenen Reihenfolge auftreten können. Zum Beispiel können zwei aufeinanderfolgend gezeigte Abschnitte in der Tat im Wesentlichen gleichzeitig ausgeführt werden, oder die Abschnitte können manchmal in umgekehrter Reihenfolge ausgeführt werden, was von der betreffenden Funktionalität abhängig ist. Es sei ebenfalls angemerkt, dass jeder Abschnitt eines Teildiagramms und/oder einer Flussdiagrammdarstellung und Kombinationen von Abschnitten eines Teildiagramms und/oder von einer Flussdiagrammdarstellung mittels eines speziellen, auf Hardware basierten Systems implementiert werden kann, um die spezifizierten Funktionen oder Handlungen, oder Kombinationen von speziellen Hardware und Computer auszuführen.

[0078] In der obigen Beschreibung ist ein Ausführungsbeispiel ein Beispiel oder die Implementierung der Erfindung. Das verschiedene Vorkommen von „die eine Ausführungsform“, „eine Ausführungsform“, „bestimmte Ausführungsformen“ oder „einige Ausführungsformen“ beziehen sich nicht notwendigerweise alle auf dieselben Ausführungsformen. Obwohl verschiedene Merkmale im Zusammenhang mit der Erfindung mit einer einzigen Ausführungsform beschrieben werden können, können die Merkmale getrennt oder in jeder geeigneten Kombination vorgesehen werden. Umgekehrt, obwohl die Erfindung auch hier im Zusammenhang mit getrennten Ausführungsform aus Gründen der Klarheit beschrieben werden kann, kann die Erfindung auch in einer einzigen Ausführungsform implementiert werden. Bestimmte Ausführungsformen der Erfindung können, wie oben offenbart, Merkmale von verschiedenen Ausführungsformen beinhalten, und bestimmte Ausführungsformen können, wie oben offenbart, Elemente aus anderen offenbarten Ausführungsformen umfassen. Die Offenbarung der Elemente der Erfindung im Zusammenhang mit einer speziellen Ausführungsform wird nicht als Einschränkung ihrer Verwendung in der spezifischen Ausführungsform betrachtet. Darüber hinaus ist es selbstverständlich, dass die Erfindung auf verschiedene Weise aus- oder durchgeführt werden kann und dass die Erfindung in bestimmten Ausführungsformen, anderen, als die in der Beschreibung oben umrissenen, implementiert werden kann.

[0079] Die Erfindung ist nicht auf diese Diagramme oder auf die entsprechenden Beschreibungen beschränkt. Beispielsweise braucht der Ablauf nicht durch jede dargestellte Box oder Zustand verlaufen, oder in genau der gleichen Reihenfolge, wie dargestellt und beschrieben, ablaufen. Die Bedeutung der

hierin verwendeten technischen und wissenschaftlichen Begriff werden im Allgemeinen von einem Fachmann auf dem Gebiet, in das die Erfindung gehört, verstanden, sofern dies nicht anders definiert ist. Während die Erfindung mit Bezug auf eine begrenzte Anzahl von Ausführungsformen beschrieben worden ist, sollte diese nicht als Einschränkung des Umfangs der Erfindung auszulegen sein, sondern dient dies vielmehr als Veranschaulichung einiger der bevorzugten Ausführungsformen. Andere mögliche Variationen, Modifikationen und Anwendungen sind auch im Umfang der Erfindung enthalten. Dementsprechend sollte der Umfang der Erfindung nicht durch den Umfang des bisher Beschriebenen, sondern nur durch die nachstehenden Ansprüchen und deren Äquivalente begrenzt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Identifizierung von Prozessvariationen während eines Herstellungsprozesses eines Produkts (103), umfassend:
dass in einem vorbestimmten Stadium während der Herstellung eines ersten Produkts (103) mittels eines Abbildungssystems (100) mehrere Bilder eines Bereichs des ersten Produkts (103) unter Verwendung verschiedener Werte mindestens eines Abbildungsparameters erzeugt werden;
dass die Bilder des Bereichs des ersten Produkts (103) analysiert werden, um eine erste Kontrastsignatur für das erste Produkt (103) zu erzeugen, die die Variationen des Kontrasts der Bilder des Bereichs des ersten Produkts (103) mit dem mindestens einen Abbildungsparameter darstellen;
dass in einem vorbestimmten Stadium während der Herstellung eines zweiten Produkts (103) mehrere Bilder eines Bereichs des zweiten Produkts, der dem Bereich des ersten Produkts (103) entspricht, unter Verwendung verschiedener Werte des mindestens einen Abbildungsparameters erzeugt werden;
dass die Bilder des Bereichs des zweiten Produkts (103) analysiert werden, um eine zweite Kontrastsignatur für das zweite Produkt (103) zu erzeugen, die die Variationen des Kontrasts der Bilder des Bereichs des zweiten Produkts (103) mit dem mindestens einen Abbildungsparameter darstellen; und
dass die ersten und zweiten Kontrastsignaturen verglichen werden, um zu identifizieren, ob zwischen der Herstellung des ersten und des zweiten Produkts (103) eine Prozessvariation aufgetreten ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der mindestens eine Abbildungsparameter eines oder mehrere des Folgenden umfasst:
die numerische Apertur des Abbildungssystems (100);
die Wellenlänge der Beleuchtungsstrahlung;

den Fokus des Abbildungssystems (100);
die Polarisation der Beleuchtungsstrahlung.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Identifizieren ferner das Detektieren einer Verschiebung in einem Merkmal oder in mehreren der Merkmale in der ersten und der zweiten Kontrastsignatur in Bezug auf den einen oder die mehreren Abbildungsparameter umfasst.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der mindestens eine Abbildungsparameter zwei Abbildungsparameter umfasst.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die zwei Abbildungsparameter den Fokus und die Wellenlänge umfassen.

6. Verfahren nach Anspruch 4, wobei das Identifizieren das Detektieren einer Verschiebung in einem Merkmal oder in mehreren der Merkmale in der ersten und der zweiten Kontrastsignatur in Bezug auf den einen oder die mehreren Abbildungsparameter umfasst.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Identifizieren ferner das Detektieren einer Verschiebung in einem Merkmal oder in mehreren der Merkmale in der ersten und der zweiten Kontrastsignatur in Bezug auf den einen oder die mehreren Abbildungsparameter umfasst.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die erste und die zweite Signatur jeweils eine Kontrastkarte umfassen.

9. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die erste und die zweite Kontrastsignatur ein oder mehrere Merkmale umfassen, die die Werte des mindestens einen Abbildungsparameters umfassen, bei dem die Änderungsrate des Kontrasts am höchsten ist.

10. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Analysieren ein Zuordnen eines Vorzeichens zu Kontrastmessungen umfasst, wodurch die erste und die zweite Kontrastsignatur eine Kontrastumkehr identifizieren.

11. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die erste und die zweite Kontrastsignatur ein Merkmal oder mehrere Merkmale umfassen, die die Werte des mindestens einen Abbildungsparameters aufweisen, bei dem sich der Kontrast von positiv nach negativ ändert oder umgekehrt.

12. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Bereich ein Target für die Overlay-Messung umfasst.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei das Target ein Beugungsgitter umfasst.

14. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das erste und das zweite Produkt (103) in Chargen hergestellt werden und das erste und das zweite Produkt (103) aus unterschiedlichen Chargen sind.

15. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Verfahren das Wiederholen des Erzeugens, des Analysierens und des Vergleichens bei der Herstellung weiterer erster und zweiter Produkte (103) umfasst, um mögliche Variationen des Fertigungsprozesses regelmäßig zu überwachen.

16. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das erste und zweite Produkt Halbleiterwafer (103) sind.

17. System zur Identifizierung von Prozessvariationen während eines Herstellungsprozesses eines Produkts (103), wobei das System umfasst:
ein Beleuchtungssystem (200) und Abbildungssystem (100), wobei das Beleuchtungssystem (200) eine Strahlungsquelle (203) umfasst und das Abbildungssystem (100) so angeordnet ist, dass es Strahlung von dem Beleuchtungssystem (200) in Richtung auf die Oberfläche eines Produkts (103) richtet und von dem Produkt (103) reflektierte Strahlung von der Beleuchtungsquelle (203) empfängt, um Bilder des Produkts (103) zu erzeugen;
eine Kontrolleinheit (110), die das Abbildungssystem (100) oder Beleuchtungssystem (200) oder beide steuert, um Bilder des ersten und zweiten Produkts (103) bei einem vorbestimmten Stadium der Herstellung zu erhalten, wobei verschiedene Werte des mindestens einen Abbildungsparameters verwendet werden;
eine Bildanalyseeinheit (107), die konfiguriert ist, um die Bilder zu analysieren, um jeweilige Kontrastsignaturen für das erste und das zweite Produkt (103) zu erzeugen, die Variationen des Kontrasts bei dem mindestens einen Abbildungsparameter darstellen, und um die ersten und zweiten Kontrastsignaturen zu vergleichen, um zu identifizieren, ob eine Prozessvariation zwischen der Herstellung des ersten und des zweiten Produkts (103) aufgetreten ist.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

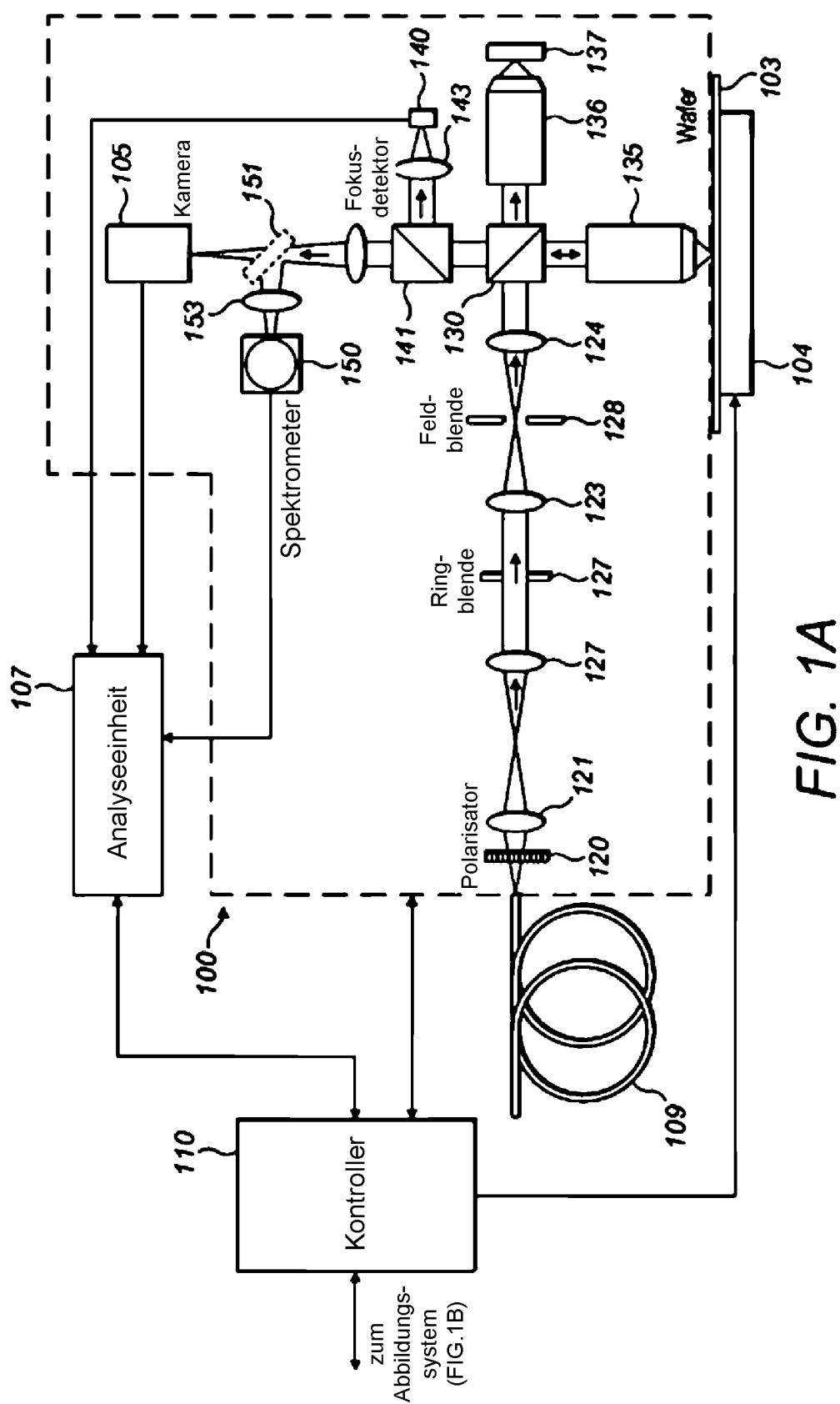
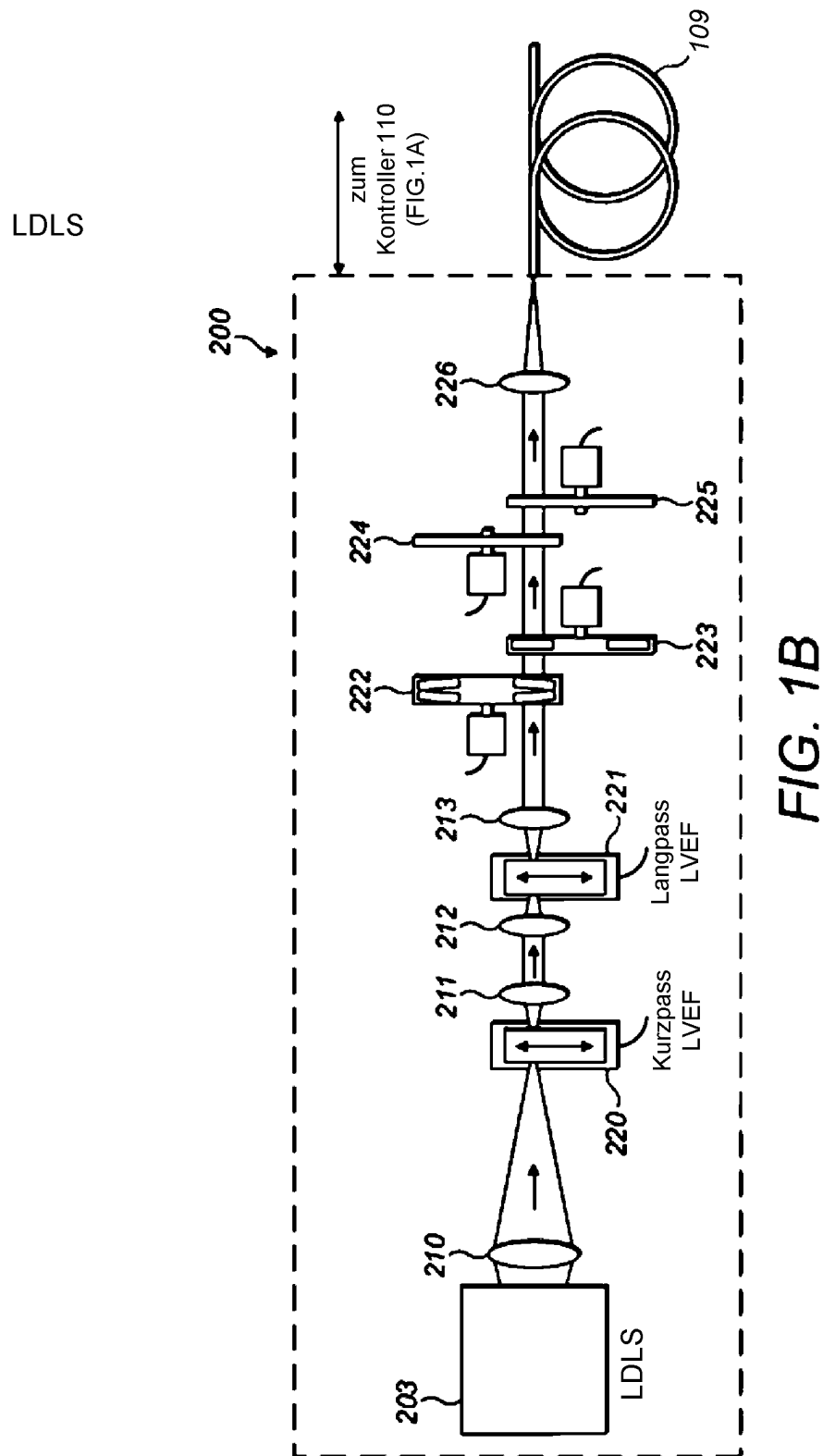


FIG. 1A



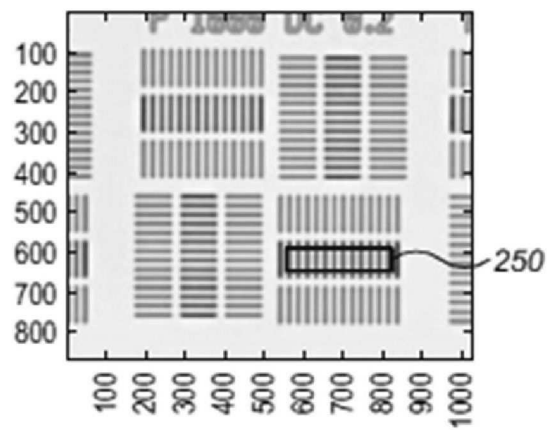


FIG. 2A

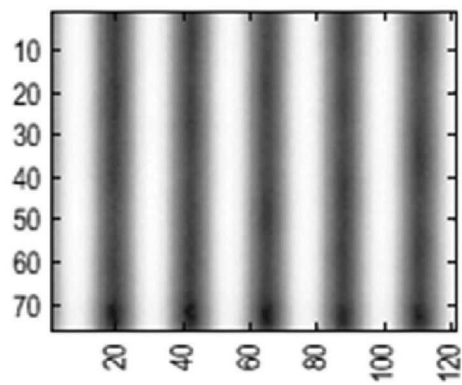


FIG. 2B

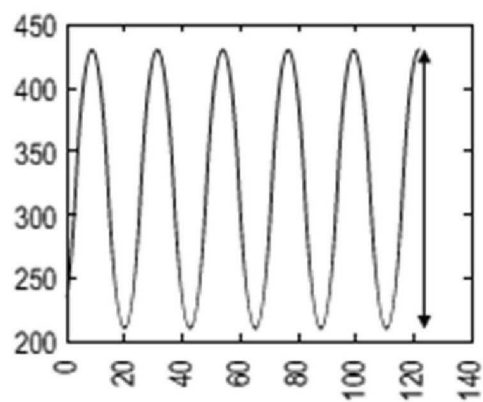


FIG. 2C

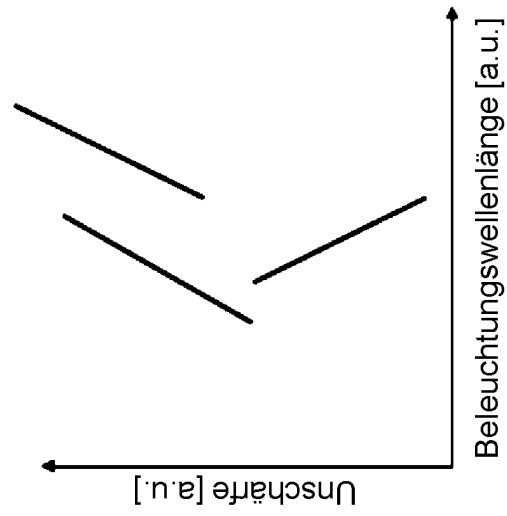


FIG. 3C

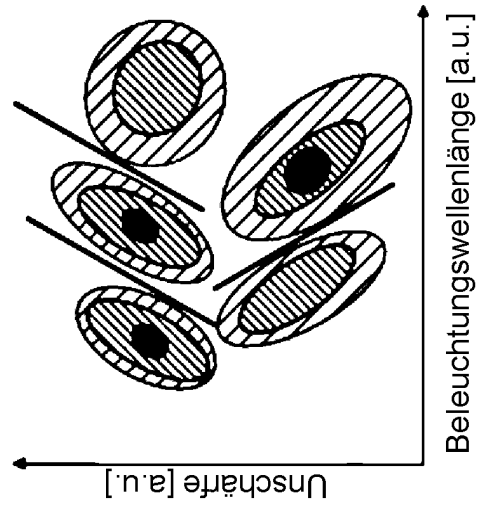


FIG. 3B

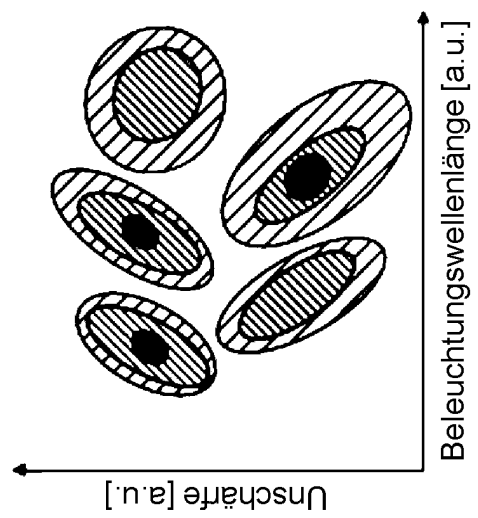


FIG. 3A

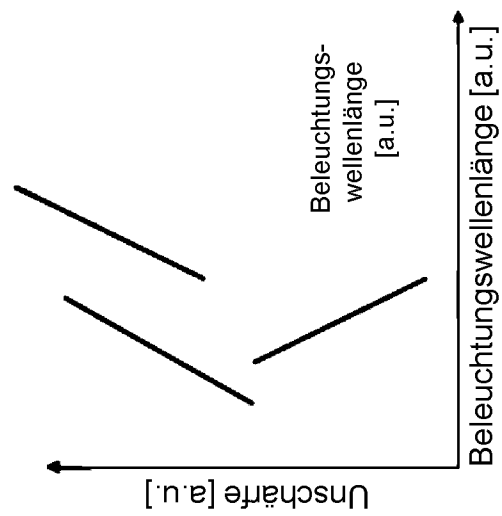


FIG. 4A

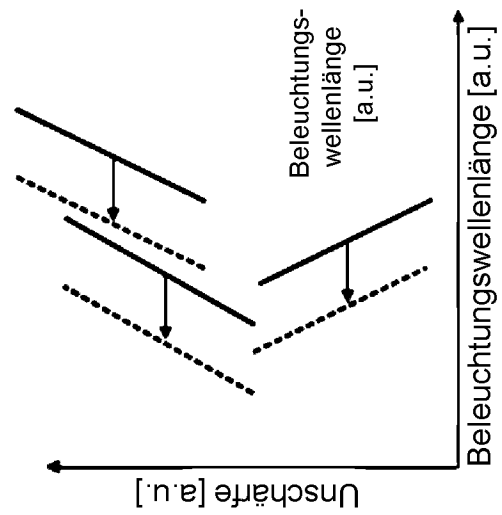


FIG. 4B

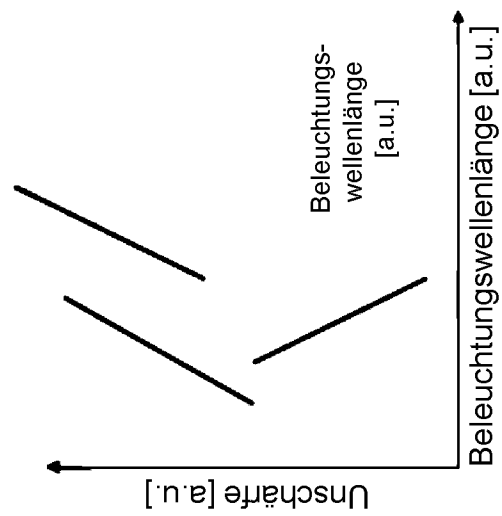


FIG. 4C

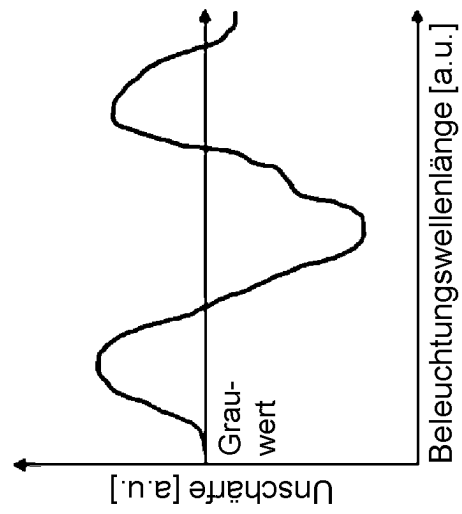


FIG. 5A

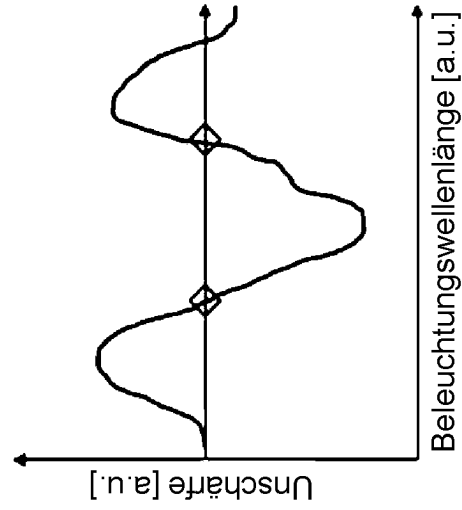


FIG. 5B

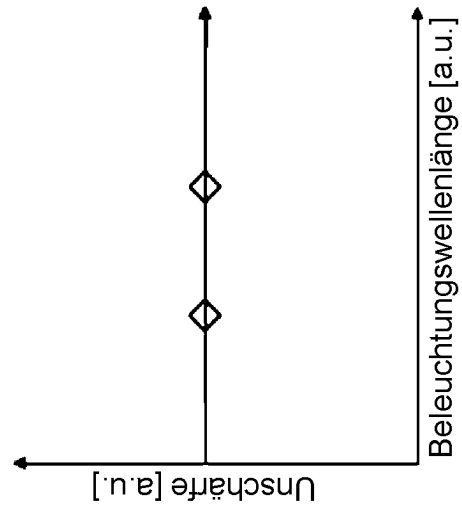
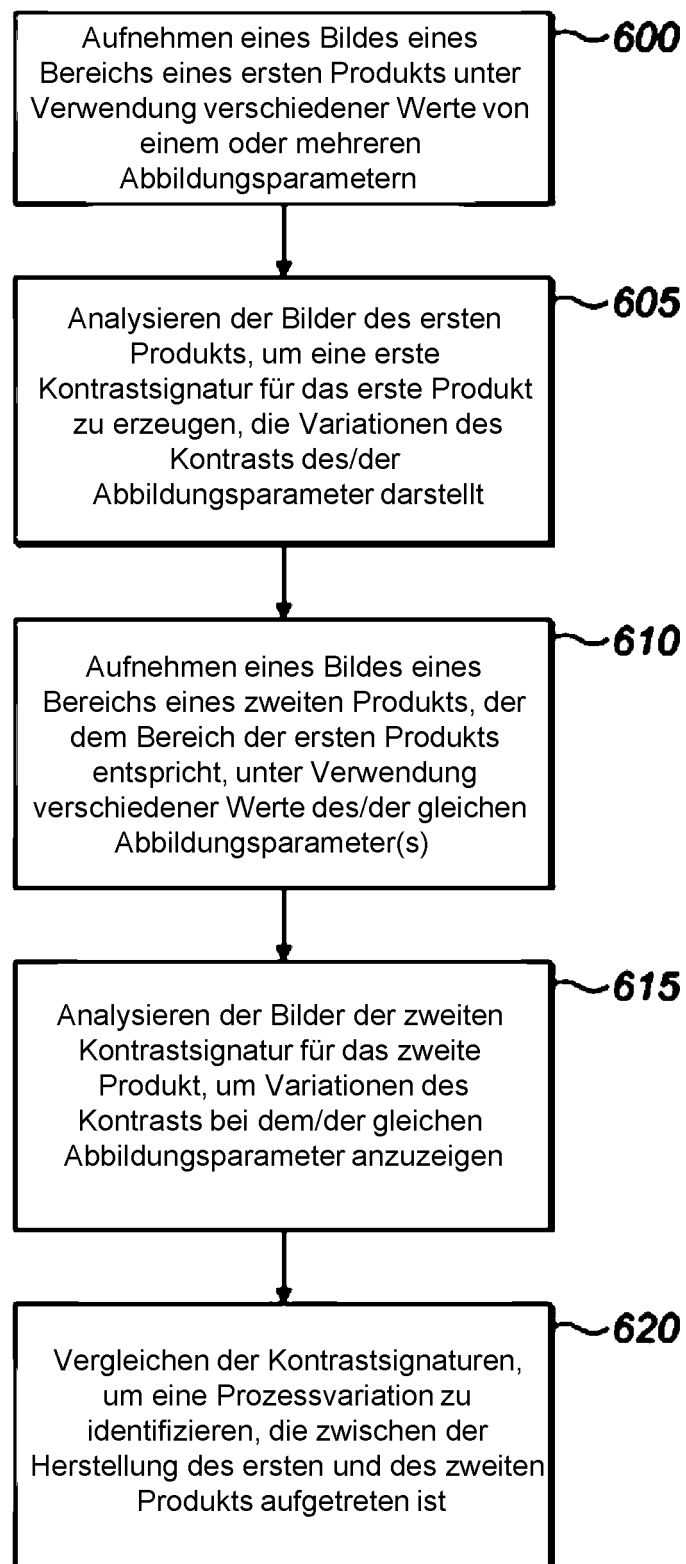


FIG. 5C

**FIG. 6**

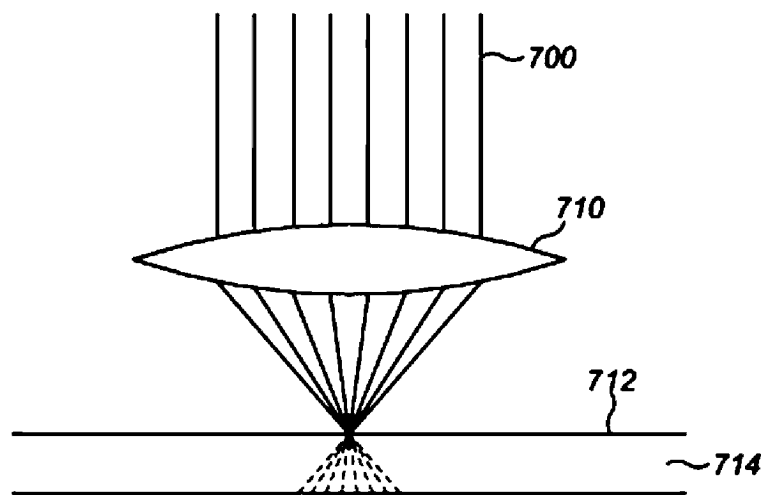


FIG. 7A

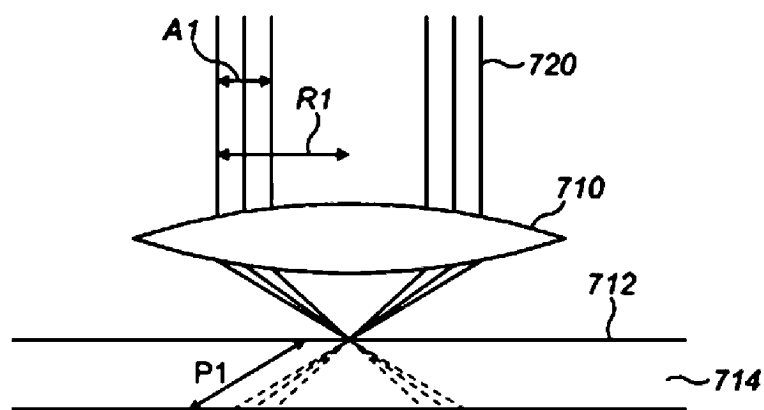


FIG. 7B

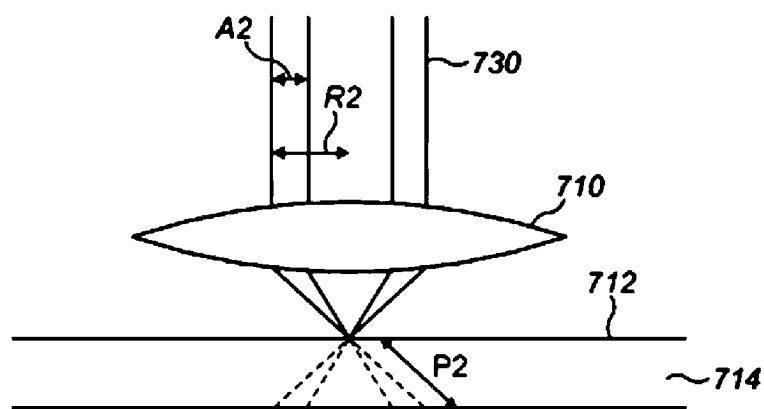


FIG. 7C