

Untersuchungsverfahren für eine Halbleiterprobe mittels eines Sekundärionen-Massenspektrometers mit einem fokussierten Ionenstrahl und Analysevorrichtung dafür

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Untersuchungsverfahren für eine Halbleiterprobe mittels eines Sekundärionen-Massenspektrometers mit einem fokussierten Ionenstrahl mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1 sowie eine Analysevorrichtung dafür mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 13.

Stand der Technik

Die Herstellung mehrerer Bauelemente im Wafer-Maßstab ist mit mehreren bedeutenden Herausforderungen verbunden, von denen viele mit der empfindlichen und präzisen Natur z. B. von Quantenbauelementen und gezielten Technologien zusammenhängen. Zu diesen Herausforderungen gehören:

- Gleichmäßigkeit und Konsistenz: Die Bauelemente erfordern eine präzise Kontrolle der Materialien und Herstellungsverfahren. Das Erreichen von Einheitlichkeit und Konsistenz bei allen Bauelementen auf einem Wafer ist entscheidend für ihren zuverlässigen Betrieb. Abweichungen bei Materialien, Abmessungen oder Verarbeitungsschritten können zu Abweichungen von Chip zu Chip führen.
- Fertigungstoleranzen: Bauelemente erfordern oft eine Fertigung im Nanobereich mit extrem engen Toleranzen. Das Erreichen dieser Toleranzen

über einen großen Wafer hinweg kann technisch anspruchsvoll sein und spezielle Fertigungstechniken erfordern.

- Kosten: Das Hochskalieren der Produktion auf Waferebene kann aufgrund des Bedarfs an Spezialausrüstung und Reinraumeinrichtungen teuer sein. Kosteneffiziente Herstellungsmethoden für Geräte sind eine ständige Herausforderung.

Die Erforschung und Herstellung von Quantenbauelementen ist ein vielversprechender Bereich, in dem sowohl akademische Gruppen als auch Industrieunternehmen bereits aktiv sind. Einige spezifische Herausforderungen für diese neue Anwendung sind:

- Fehlerkorrektur: Die Quantenfehlerkorrektur ist ein kritischer Aspekt der Quanteninformatik. Mit mehreren Bauelementen auf einem Wafer wird die Fehlerkorrektur komplexer, da sich Fehler in einem Bauelement auf benachbarte Bauelemente auswirken können. Die Entwicklung von Fehlerkorrekturstrategien, die sowohl effektiv als auch skalierbar sind, ist eine wichtige Aufgabe.
- Integration von Komponenten: Quantenbauelemente können aus mehreren Komponenten bestehen, z. B. Qubits, Steuerelektronik und Auslesesysteme. Die nahtlose Integration dieser Komponenten auf einem einzigen Wafer unter Beibehaltung ihrer Funktionalität stellt eine Herausforderung dar.
- Prüfung und Kalibrierung: Jedes Quantenbauelement muss einzeln getestet, kalibriert und charakterisiert werden, um sicherzustellen, dass es die Leistungsspezifikationen erfüllt. Dies wird umso zeit- und ressourcenaufwändiger, je größer die Anzahl der Bauelemente auf einem Wafer ist.
- Rauschen: Quantenbauelemente reagieren empfindlich auf Rauschgrößen, einschließlich Temperaturschwankungen und elektromagnetischer Strahlung. Die Beherrschung und Abschirmung dieser Störquellen ist eine Herausforderung, wenn mehrere Bauelemente dicht gepackt auf einem Wafer angeordnet sind.

- Qubit-Nebensprechen: In der Quanteninformatik sollten Qubits (Quantenbits) idealerweise nicht miteinander interagieren, es sei denn, sie sind absichtlich gekoppelt. Auf einem Wafer mit mehreren Qubits ist es eine große Herausforderung, unbeabsichtigte Wechselwirkungen bzw. Übersprechen zwischen benachbarten Qubits zu verhindern.
- Skalierbarkeit: Mit der zunehmenden Anzahl von Quantenbauelementen auf einem Wafer steigt auch die Komplexität der Steuerungs- und Auslesesysteme. Die Skalierung von Quantentechnologien, um viele Bauelemente auf einem einzigen Wafer unterzubringen, ohne die Leistung zu beeinträchtigen, stellt eine große technische Herausforderung dar.

Die Bewältigung dieser Herausforderungen erfordert eine Kombination aus fortschrittlicher Materialwissenschaft, Fertigungstechniken, Fehlerkorrekturstrategien und Systemintegrationsansätzen.

Um Halbleiterstrukturen zu untersuchen, gerade auch bei einer den Fertigungsprozess begleitenden Fehleranalyse, ist die Sekundärionen-Massenspektrometrie (SIMS) eine leistungsstarke Analysetechnik. SIMS liefert detaillierte Informationen über die Zusammensetzung, Struktur und Verteilung von Elementen und Isotopen auf der Oberfläche und in diesem Zusammen auch innerhalb von Halbleitermaterialien. Die wichtigsten Anwendungsbereiche für SIMS in der Halbleiterindustrie sind:

- Prozesskontrolle und Qualitätssicherung: SIMS wird für die Prozesskontrolle bei der Halbleiterherstellung eingesetzt. Es trägt dazu bei, die Konsistenz und Qualität der Dünnschichtabscheidung, der Ionenimplantation, des Ätzens und anderer Prozesse zu gewährleisten, indem die elementare Zusammensetzung der Materialien in verschiedenen Prozessschritten analysiert wird. Dies hilft bei der Identifizierung von Abweichungen oder Verunreinigungen, die die Leistung des Endprodukts beeinträchtigen könnten.
- Defekt-Analyse: SIMS ist für die Identifizierung und Charakterisierung von Defekten in Halbleitermaterialien und -geräten von großem Nutzen. Es

kann winzige Spuren von Verunreinigungen oder Fremdmaterialien aufspüren, die Defekte in integrierten Schaltungen (ICs) verursachen können. Dies ist entscheidend für die Verbesserung der Ausbeute und Zuverlässigkeit.

- Tiefenprofilierung: SIMS eignet sich besonders gut für die Tiefenprofilierung, die es Halbleiterherstellern ermöglicht, die Verteilung von Dotierstoffen, Verunreinigungen und anderen Materialien in den verschiedenen Schichten von Halbleiterbauelementen zu bestimmen. Diese Informationen sind für die Optimierung der Leistung und Zuverlässigkeit der Chips unerlässlich.
- Elementare Kartierung („Mapping“): SIMS kann Elementkarten erstellen, die die räumliche Verteilung der verschiedenen Elemente auf einer Halbleiteroberfläche zeigen. Dies ist wertvoll für die Identifizierung von Mustern, Variationen und Materialinteraktionen, die für die Prozessoptimierung und die Leistung der Bauelemente entscheidend sind.
- Materialforschung und -entwicklung: SIMS wird in der Forschung und Entwicklung eingesetzt, um neue Materialien und Verfahren für die Halbleiterherstellung zu entwickeln. Forscher können SIMS nutzen, um das Verhalten von Materialien auf atomarer und molekularer Ebene zu verstehen, was für die Neuentwicklung und Verbesserung von Halbleitertechnologien unerlässlich ist.
- Charakterisierung von Dünnschichten: SIMS wird häufig zur Charakterisierung der Zusammensetzung von Dünnschichten und Mehrschichtstrukturen in Halbleiterbauelementen eingesetzt. Dies ist wichtig, um die Eigenschaften dieser Materialien für bestimmte Anwendungen zu optimieren.
- Überwachung der Ionenimplantation: SIMS kann zur Überwachung des Erfolgs und der Genauigkeit von Ionenimplantationsprozessen eingesetzt werden, die für die Erstellung spezifischer Dotierungsprofile in Halbleitermaterialien unerlässlich sind.
- Analyse von Spurenelementen: Mit SIMS können Spurenelemente und Verunreinigungen in Halbleitermaterialien nachgewiesen werden. Selbst kleine Mengen von Verunreinigungen können die Leistung von

Bauelementen beeinträchtigen, weshalb eine genaue Erkennung mit hoher Sensitivität entscheidend ist.

Üblicherweise wird unter laufender Nutzung der SIMS der zu analysierende Bereich auf der Halbleiterprobe zunächst gesucht und durch Verweilen in diesem Bereich dann die eigentliche Untersuchung durchgeführt.

Nachteilig an der Verwendung der SIMS bei der Untersuchung dünn-schichtiger Halbleitertopographien ist, dass jeder Bestrahlungsvorgang die Halbleiterstruktur reduziert, und zwar in einem im Verhältnis zur ursprünglichen Strukturdicke relevanten Maß. Während bei herkömmlichen Halbleiterstrukturen mit einer üblichen Schichtdicke von $>100\text{nm}$ trotz eines Strukturverlusts, der durch ein oder mehrere Analyseprozesse mittels SIMS hervorgerufen wird, die elektrische Funktionsfähigkeit erhalten blieb, ist dies bei modernen dünn-schichtigen Strukturen mit einer Dicke von 25nm und weniger nicht der Fall. Bei jedem SIMS-Analysevorgang erfolgt in einem dabei bestrahlten Bereich ein Strukturverlust und Primärionenimplantation, die so erheblich sind, dass – je nach Rasterdichte – die elektrische Funktionsfähigkeit bereits nach wenigen Durchgängen nicht mehr gegeben ist beziehungsweise eine Fehlersuche mit demselben Wafer nicht mehr fortgesetzt werden kann.

Auch wenn keine Funktionsfähigkeit der Halbleiterstruktur nach der Analyse mehr erforderlich ist, ist der Materialabtrag nachteilig, etwa bei einer Analyse zur dreidimensionalen Strukturaufklärung, die modernen Halbleiterstrukturen mit mehreren Ebenen zunehmen an Bedeutung gewinnt. Hier kann u.U. nicht mehr zu bestimmen sein, ob ein Oberflächendefekt bereits herstellungsbedingt vorhanden war oder erst durch Vorabscans mit dem fokussierten Ionenstrahl bewirkt wurde.

Weitere Nachteile dieses Vorgehens können darin bestehen, dass moderne dichte Halbleiterstrukturen nicht präzise genug analysierbar sind, dass das Herantasten an die gewünschte Zielregion manuelle Eingriffe erfordert und daher kaum maschinell reproduzierbar sind und dass keine zuverlässige

Datenkorrelation mit anderen Datenquellen, wie z. B. optischen oder elektronenmikroskopischen Bildern, möglich ist.

Aufgabe

Die Aufgabe der Erfindung besteht somit insbesondere darin, ein Untersuchungsverfahren für eine Halbleiterprobe mittels eines Sekundärionen-Massenspektrometers (SIMS) mit einem fokussierten Ionenstrahl (focussed ion beam, FIB) so zu verbessern, dass der Strukturverlust beziehungsweise die Primärionenimplantation an der Halbleiterprobe reduziert wird, damit eine größere Anzahl von Untersuchungsdurchgängen zur Prüfung mehrerer ROI auf derselben Halbleiterprobe möglich ist, wobei vorzugsweise die elektrische Funktionsfähigkeit der Halbleiterstruktur erhalten bleibt, und weitgehend automatisch durchführbare und gut reproduzierbare Analysen ermöglicht werden.

Lösung

Diese Aufgaben werden durch ein Untersuchungsverfahren für eine Halbleiterprobe mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Der Grundgedanke der Erfindung besteht darin, zunächst diejenige Zielregion in der Halbleiterstruktur, die für die Untersuchung von Interesse ist (sog. Region-Of-Interest, ROI), unter Verwendung von im Voraus gewonnenen Navigationsdaten, die sich auf die Halbleiterstruktur beziehen, gezielt anzufahren und nur in der angefahrenen ROI die Halbleiterstruktur mit dem fokussierten Ionenstrahl zu beaufschlagen.

Sofern nachfolgend auf einen „Ionenstrahl“ Bezug genommen wird, ist damit stets ein „fokussierter Ionenstrahl“, englisch: Focused Ion Beam (FIB) bezeichnet, der als Mittel zur Oberflächenanalyse bekannt ist, wobei emittierte Ionen, meist Gallium oder Helium, genutzt werden. Der Ionenstrahl wird mit Hilfe elektrostatischer und magnetischer Linsen in einem Punkt fokussiert und zeilenweise über die Oberflächen geführt. Dabei treten Sekundärelektronen aus der Oberfläche aus, die detektiert werden und eine Abbildung der Oberfläche

ermöglichen. Damit ist aber stets ein Abtrag der zu analysierenden Struktur verbunden. Dieser unvermeidliche Abtrag wird gemäß der Erfindung in Bereiche verlegt, die sich außerhalb der zu analysierenden Halbleiterstruktur befinden.

Vereinfacht gesagt, wird nach der Erfindung der Probenbereich zunächst nur mithilfe von Navigationsdaten so verfahren, dass der fokussierte Ionenstrahl zunächst in einer Region der Probe angewendet werden kann, die nicht genau analysiert werden muss. Dort wird eine vorhandene oder extra hinzugefügte, gut erkennbare Marke mit dem fokussierten Ionenstrahl bestrahlt, um mit der aus den Navigationsdaten abgeleiteten Soll-Position und der unter Materialabtrag ermittelten Ist-Position eine Korrektur vornehmen zu können. Die Marke kann ein charakteristisches Strukturmerkmal innerhalb der zu analysierenden Halbleiterstruktur sein, beispielsweise ein Winkel oder ein Kreuzungspunkt.

Das hier vorgestellte Untersuchungsverfahren eignet sich besonders für Proben der Halbleiterherstellung (z.B. CMOS, Compound Semiconductors, etc.).

Die Bezeichnung als „Halbleiter“ schließt im Sinne der vorliegenden Erfindung auch Strukturen aus solchen Werkstoffen ein, die zwar nicht halbleitend im physikalisch-elektrischen Sinn sind, die aber mit gleichartigen Fertigungsverfahren wie bei der Halbleiterherstellung und mit ähnlichen Schichtdicken und Strukturgrößen auf gleichartigen Substraten aufgebracht sind.

Das Verfahren gilt aber auch für andere Proben, zu denen präzise Navigationsdaten vorliegen, wie beispielsweise Gesteinsproben, die im Vorfeld beispielsweise mit einem SEM oder Lichtmikroskop untersucht wurden. Im Folgenden findet verallgemeinernd ausschließlich der Begriff „Halbleiterprobe“ Verwendung.

„Halbleiterproben“ im Sinne der Erfindung beziehen sich im Hinblick sowohl auf komplette Wafer, die mehrere Dies enthalten, auf eine Folge von mehreren Dies oder ein einzelnes Die auf einem Substrat. Das Verfahren bezieht sich also auf die Untersuchung von Halbleiterstrukturen unabhängig von ihrer

Größe und Anordnungsweise. Vorzugsweise wird nur ein Wafer oder ein anderes Substrat in die Probenkammer eingebracht.

Sollen mehrere Halbleiterproben auf mehreren Wafers oder auf voneinander getrennten sonstigen Substraten zusammen in die Probenkammer eingebracht und untersucht werden, so kann das Untersuchungsverfahren der Erfindung mehrfach, für jedes Substrat einzeln, angewandt werden.

Am Ende des Verfahrens soll ein mit einer REM-Aufnahme vergleichbares elektronisches Abbild und/oder ein sonstiger Datensatz erhalten werden, der zur Charakterisierung der Halbleiterstruktur im Bereich des bestrahlten ROI geeignet ist. Das kann z. B. auch Messergebnisse einschließen, durch die Verunreinigungen mit Fremdatomen nachgewiesen sind.

Das Abbild kann eine aus den Sekundärelektronenemissionen gewonnene, vom menschlichen Auge erkennbare Bild sein, das mit einer Aufnahme eines Rasterelektronenmikroskops vergleichbar ist.

Als zu gewinnender sonstiger Datensatz kommen insbesondere Punktspektren, Linienspektren oder Bildspektren in Betracht. Werden Punkt-, Linien- oder Bild-Spektren aufgezeichnet, so gibt es pro Pixel ein komplettes Spektrum. Die hierfür benutzten Datenformate sind meist proprietäre Formate des Herstellers, und die Datenmenge ist groß. Man kann sich alternativ dafür entscheiden, nur skalare Werte, beispielsweise die Summe eines Kupfer-Signals, pro Pixel aufzuzeichnen. Daraus kann ein Bild mit einer Fehlfarbdarstellung im .bmp oder .tif-Format gewonnen werden. Dann ist die Datenmenge wesentlich geringer, und dennoch kann im genannten Beispiel ein Maß für die Kupferverteilung erhalten werden.

Während meistens die Spektren in 0D, 1D, 2D an der X,Y- Oberfläche aufgezeichnet werden, also als ein Punkt-, Linien-, Bild-Spektrum, kann man alternativ auch den Ionenstrahl für eine längere Zeit auf einen Punkt stellen. Durch den Sputter-Effekt „gräbt“ sich der Strahl in die Tiefe der Probe. Man erhält dann für diesen X,Y-Punkt ein Tiefenprofil in Richtung Z.

Ein solcher Abtrag mit dem Ziel der Gewinnung eines Tiefenprofils kann erfindungsgemäß nicht nur punktuell, sondern auch über Nachverfolgung eines Pfades in der Ebene erreicht werden, indem durch mehrfache Ausführung des Analysescans mit denselben Navigationsdaten wenigstens eine oberliegende Halbleiterschicht partiell abgetragen wird und eine Untersuchung in einer unterhalb der partiell abgetragenen Halbleiterschicht befindlichen weiteren Halbleiterschicht ermöglicht wird.

Entsprechend umfasst ein „sonstiger Datensatz“ im Sinne der vorliegenden Erfindung Punktspektren, Linienspektren und/oder Bildspektren und/oder Bilder, welche die Verteilung eines einzelnen Elementes zeigen, und/oder ein Tiefenprofil, welches die Verteilung eines Elementes in Z-Richtung widerspiegelt.

Navigationsdaten für die Halbleiterprobe können erhalten werden aus:

- CAD-Daten, wie z.B. GDS II Dateien,
- Positionslisten, z.B. KLARF Dateien zur Angabe von im Voraus erkannten Defekten der Halbleiterstruktur oder
- andere Bilddaten, die vorab mit nicht probenzerstörerischen Analysemethoden, beispielsweise mit Lichtmikroskopie, aufgenommen worden sind und die zur Orientierung sowie der genauen Lokalisierung der ROI auf der Probe geeignet sind.

„Datenbasierte Navigation“ bedeutet im Sinne der vorliegenden Erfindung also, dass reproduzierbare Daten gewonnen werden, die sich auf geometrische Merkmale der Halbleiterstruktur auf der Halbleiterprobe beziehen, bevor die Region-Of-Interest angefahren und der auf irgendeinen Ort auf der Halbleiterstruktur gerichtete Ionenstrahl eingeschaltet wird.

Das gezielte Anfahren der Zielregion wird zum einen dadurch ermöglicht, dass die Halbleiterprobe mit der zu untersuchenden Halbleiterstruktur auf einer sehr präzise verfahrbaren Probenbühne wie insbesondere einer sogenannten Laserinterferometer-Stage platziert wird. Zum anderen sieht die Erfindung vor, die Halbleiterprobe mit einer oder mit mehreren separat auf dem Substrat

ausgebildeten Positionierungsmarken außerhalb der zu untersuchenden Halbleiterstruktur zu versehen oder charakteristische geometrische Punkte innerhalb der Halbleiterstruktur auszuwählen, bei welchen eine mehrfache Bestrahlung mit dem Ionenstrahl möglich ist.

„Positionierungsmarken“ im Sinne der vorliegenden Erfindung sind somit alle sicher auffindbaren Punkte auf dem Substrat der Halbleiterprobe, die zusätzlich zur Halbleiterstruktur ausgebildet sind oder die innerhalb der Halbleiterstruktur ausgewählt sind, und für die eine Mehrfachbestrahlung ohne Nachteile möglich ist.

Bei mehr als zwei Positionierungsmarken sind diese so verteilt angeordnet, dass sie nicht sämtlich auf einer Geraden liegen und damit als Bezugspunkte in einem 2D-Koordinatensystem geeignet sind.

Möglich ist auch, dass als Positionierungsmarken keine dedizierten Marken außerhalb der Halbleiterstruktur verwendet werden, sondern dass charakteristische Strukturen innerhalb der Halbleiterstruktur, oder beispielsweise die linke untere Ecke eines Chips, der mehrfach auf einem Wafer wiederholt wird, dafür ausgewählt werden.

Zu Beginn des Analyseprozesses wird anhand eines Sollwerts derjenige Bereich auf der Halbleiterprobe unter dem Ionenstrahl positioniert, welche wenigstens eine Positionierungsmarke enthält. Der Sollwert wird aus den für die Herstellung der Halbleiterprobe benutzten Navigationsdaten und einer festen bekannten Position auf der Probenbühne gebildet.

Es wird dann in einem ersten Vorab-Scan eine Analyse des Bereichs der Halbleiterprobe mit wenigstens einer Positionierungsmarke durchgeführt. Dieser Vorab-Scan kann durch bekannte SIMS- oder SE-Detection-Verfahren vorgenommen werden. Durch Ermittlung der Differenz zwischen der theoretischen Soll-Position der Positionierungsmarke und der tatsächlichen Ist-Position kann das probeninterne Koordinatensystem mit dem Koordinatensystem der Probenbühne in Übereinstimmung gebracht werden (Alignment). Durch

Wiederholung des Schrittes für weitere Positionierungsmarken können Fehler in der Positionierung der Halbleiterprobe nicht nur in der X-Y-Ebene der Probenbühne erkannt werden, sondern auch eine Rotation der Halbleiterprobe gegenüber der Probenbühne und ein Fehler im Zoomfaktor, der z.B. durch einen abweichenden Abstand zwischen der Probenoberfläche und der Strahlungsquelle entsteht.

Nach dem Alignment wird die Probenbühne relativ zu der ortsfest positionierten Ionenstrahlquelle und unter Nutzung der aus den Navigationsdaten bekannten Distanzen in der Probenbühnenebene verfahren, um die zu untersuchende ROI in der Halbleiterstruktur präzise anzufahren. Erst dann erfolgt eine SIMS-Analyse der ROI unter Ionenbestrahlung der ROI.

Die Kombination von CAD/Blindprobennavigation und SIMS bietet mehrere bedeutende Vorteile, vor allem in Bezug auf Präzision, Effizienz und Genauigkeit der Probenanalyse. Diese sind im Einzelnen:

- Erhöhte Präzision: Die datenbasierte Navigation ermöglicht eine präzise und genaue Probenpositionierung. Sie stellt sicher, dass das SIMS-Gerät genau die Stelle anvisiert, die auf der Probenoberfläche oder innerhalb einer komplexen Struktur von Interesse ist. Diese Präzision ist entscheidend für die Analyse bestimmter Merkmale, Schichten oder Strukturen in Halbleiterbauelementen oder anderen Materialien.
- Effiziente Datenerfassung: Die datenbasierte Navigation rationalisiert den Datenerfassungsprozess. Durch die genaue Angabe der interessierenden Bereiche oder Merkmale, z. B. in einem CAD-Modell, kann das SIMS-Gerät diese spezifischen Regionen automatisch scannen und analysieren, wodurch zeitaufwändige manuelle Anpassungen entfallen.
- Minimierte Probenbeschädigung: Bei der SIMS-Analyse kann der primäre Ionenstrahl Sputtering und somit Schäden an der Probenoberfläche, sowie unerwünschte Implantation der Primärionen, verursachen. Die datenbasierte Navigation minimiert diese Schäden, indem sie sicherstellt, dass der Ionenstrahl nur die vorgesehenen Bereiche der Halbleiterprobe

abrastert und die Unversehrtheit der benachbarten Regionen erhalten bleibt. Insbesondere wird sichergestellt, dass die ROI selbst keine Vorschädigungen durch anderenfalls nötige Orientierungs-Scans erfährt.

- Handhabung komplexer Geometrien: CAD-Modelle können komplexe und 3D-Strukturen genau darstellen. Dies ist besonders wertvoll in der Halbleiterfertigung, wo moderne Chips komplizierte Architekturen aufweisen. Die datenbasierte Navigation ermöglicht SIMS die Analyse spezifischer Schichten, Gräben und Vias innerhalb dieser komplexen Strukturen.
- Verbesserte Reproduzierbarkeit: Die datenbasierte Navigation ermöglicht konsistente und wiederholbare Analysen. Forscher und Entwickler können datenbasierte Navigationspläne für künftige Analysen speichern und wiederverwenden oder sie mit Kollegen austauschen, um eine konsistente Datenerfassung und Vergleichbarkeit zu gewährleisten.
- Datenkorrelation: Die datenbasierte Navigation erleichtert die Korrelation von SIMS-Daten mit anderen Datenquellen, wie z. B. optischen oder elektronenmikroskopischen Bildern. Durch den Abgleich der SIMS-Daten mit dem CAD-Modell können die Forscher die SIMS-Ergebnisse genau mit den spezifischen Merkmalen anderer Bildgebungsverfahren in Beziehung setzen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die datenbasierte Navigation für SIMS die Möglichkeiten und die Effizienz der Technik erheblich verbessert. Besonders wertvoll ist sie in Branchen wie der Halbleiterherstellung, wo die präzise Analyse komplexer Strukturen für die Qualitätskontrolle und die Forschung und Entwicklung unerlässlich ist. Durch die Integration von CAD-Modellen in SIMS-Instrumente können Forscher und Entwickler ein höheres Maß an Genauigkeit, Reproduzierbarkeit und Produktivität in ihren Analyseprozessen erreichen.

Ist die Startposition für den Analysescan erreicht, kann der Analysescan durchgeführt werden:

- an einer stationären Position („spot mode“) und/oder

- als ein X/Y-Scan („raster scan mode“) und/oder
- entlang einer aus Navigationsdaten vorab festgelegten Strecke oder einer Route, bei der es sich auch um einen Polygon-Streckenabtragzug handeln kann („shape mode“).

Obige Modi des Analysescans können auch mehrmals aufeinanderfolgend durchgeführt werden, um unter Zuhilfenahme des Sputtereffektes eine Untersuchung in der Tiefe der Probe (Z-Richtung) vorzunehmen. Vereinfacht gesagt, sieht das Untersuchungsverfahren in dieser Ausgestaltung vor, sich mit dem Ionenstrahl in die Tiefe der Halbleiterstruktur einzugraben. Dafür müssen oberliegende Schichten partiell entfernt werden, wozu der Ionenstrahl in seiner Intensität und/oder der Bestrahlungsdauer pro Flächeneinheit so variiert wird, dass er über ein für die reine SIMS-Analyse notwendiges Maß erhöht auf die Probe wirkt.

Besonders interessant ist die oben mit shape mode bezeichnete Probenuntersuchung entlang eines Abschnitts der Halbleiterstruktur. Bei bekannten CAD-Daten als Navigationsdaten und der Möglichkeit zur hochpräzisen Positionierung des Ionenstrahls können zum Beispiel ein Abschnitt eines geätzten Grabens mit einer Kurve oder von Gräben mit einer bestimmten Designbreite bestrahlt werden. Dies kann für sich wiederholende Sub-Strukturen der Halbleiterstruktur gemacht werden, so dass man eine statistische Verteilung oder Verteilung über den gesamten Wafer bzw. das Substrat der Halbleiterprobe erhält. Die Verteilung gibt dann Aufschluss darüber, wie groß ein Prozessfenster ist.

Die Sondengröße sollte dabei kleiner als die zu untersuchende Struktur wie z.B. eine Grabenbreite sein. Durch den Analysescan erhöht sich bei sehr dünnen Schichten, die z. B. durch Verunreinigungen gebildet sind, auch das Signal / Rausch-Verhältnis, da viel mehr Material für die Analyse zur Verfügung steht als bei einer reinen Punktanalyse.

Vorzugsweise sind die Positionierungsmittel und der Durchmesser des Ionenstrahls so aufeinander abgestimmt, dass eine Auflösung von besser als 20 nm bei Analysescans von Gräben erhalten werden.

Eine vorteilhafte Variante des Untersuchungsverfahrens sieht vor, dass eine Halbleiterprobe verwendet wird, die auf demselben Substrat wie die zu analysierende Halbleiterstruktur wenigstens drei davon abgesetzt angeordnete Positionierungsmarken besitzt, die nicht alle auf derselben Geraden angeordnet sind. Damit ist eine genaue Einmessung eines Bezugspunkts in einer zweidimensionalen Ebene möglich.

Weiterhin kann vorteilhaft sein, wenn aus dem Vorabschscan von den wenigstens drei Positionierungsmarken Korrekturdaten für eine Lagenkorrektur im Bezugssystem der Probenbühne und/oder für die Höhenlage der Halbleiterprobe auf der Probenbühne gegenüber einer den fokussierten Ionenstrahl aussendenden Primärionen säule und/oder ein Rotationsfehler der Halbleiterprobe gegenüber dem ortsfesten Gehäuse mit der Primärionen säule ermittelt werden und das Alignment anhand dieser Korrekturdaten durchgeführt wird. Dadurch wird die spätere Strukturaufklärung noch genauer.

Durch das Alignment unter Nutzung der SIMS wird durch jeden Bestrahlungsvorgang ein Strukturverlust im Bereich der Positionierungsmarke bewirkt. Um diesen zu kompensieren oder zu mildern, sind verschiedene Maßnahmen möglich.

Beispielsweise können die Positionierungsmarken bevorzugt in einer Dicke gebildet sein, die deutlich größer ist als die Schichtdicke der in späteren Analysescans aufzuklärenden Halbleiterstrukturen, und die insbesondere das 2fache bis 4fache der Dicke der Halbleiterstruktur beträgt. Damit ist ein gewisser Materialabtrag durch Mehrfachrastercans möglich.

Möglich ist auch, mehr als einen Satz von Positionierungsmarken auf der Halbleiterprobe vorzusehen und das Alignment mit einem zweiten Satz

durchzuführen, nachdem ein erster Satz durch vorhergehende Vorabscans für Alignment-Vorgänge beeinträchtigt worden ist.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn für den zum Zwecke des Alignments durchgeführten Vorabscan die Rastergeschwindigkeit gegenüber dem später folgenden Analysescan erhöht ist, beispielsweise auf das 2fache bis 4fache. Das heißt, die Pixelverweildauer (*pixel dwell time*) ist kürzer und die Bestrahlungsintensität sinkt, was zu geringerer Zerstörung der Positionierungsmarken führt. Das durch höhere Rastergeschwindigkeit erhöhte Bildrauschen ist nicht schädlich, weil die Positionierungsmarken groß im Verhältnis zur Größe der ROI sind und geometrisch so gestaltet sind, z. B. als Kreuz, dass ihr als Koordinatensystem-ursprung oder Koordinatensystembezugspunkt heranzuziehender Schwerpunkt oder ihr Zentrum immer noch sicher erkannt werden kann.

In diesem Zusammenhang sieht eine bevorzugte Ausführungsform des Untersuchungsverfahrens der Erfindung vor, dass bestimmte Größenverhältnisse gewählt werden und die Positionierungsmarken im Vergleich zu den kleinsten aufzulösenden Strukturen groß ausgeführt werden, nämlich insbesondere das 2fache bis 4fache der flächigen Ausdehnung der ROI beträgt, wobei die flächigen Ausdehnung der ROI wenigstens das Doppelte der Größe des fokussierten Ionenstrahls ist.

Bei einer Größe des fokussierten Ionenstrahls (beam size / spot size) von 5 nm liegt das physikalische Limit für die laterale Auflösung für SIMS bei etwa 10 nm aufgrund der lateralen Erstreckung der „Collision Cascade“, welche die Fläche, von der Sekundärionen von der Probe emittiert werden, beschreibt. Je nach Signal-Rausch-Verhältnis im SIMS-Bild ist somit routinemäßig eine laterale Auflösung von < 20 nm zu erwarten. Die Positionierungsmarken werden dadurch robust gegen das unerwünschte Sputtering während der Vorab-Scans.

Eine zur Durchführung des Untersuchungsverfahrens geeignete Analysevorrichtung ist in Anspruch 13 angegeben.

Diese umfasst zunächst ein Sekundärionen-Massenspektrometer, umfassend

- eine Primärionensäule, die eine Primärionenquelle enthält und die Ionen beschleunigt und als fokussierten Ionenstrahl auf die Halbleiterprobe bringt;
- eine Hochvakuum-Probenkammer, in der die Halbleiterprobe und eine Extraktionseinheit für Sekundärionen angeordnet sind sowie;
- eine Massenspektrometereinheit mit einem Detektor;

In der Massenspektrometereinheit ist ein Massenanalysator eingesetzt, der die Sekundärionen entsprechend ihrem Masse-Ladungs-Verhältnis trennt.

Außerdem umfasst die Analysevorrichtung eine Probenbühne, die zumindest in zwei Flächenkoordinaten seitlich verfahrbar ist, wobei die Probenbühnen-ebene normal zum fokussierten Ionenstrahl ausgerichtet ist. Die Probenbühne verfügt insbesondere über ein Antriebssystem, um eine Bewegung der Probenbühne relativ zur ortsfesten Probenkammer auszuführen. Dazu können Spindeln vorgesehen sein, die von DC-Motoren oder Schrittmotoren angetrieben werden.

Weiterhin umfasst die Probenbühne ein Rückmesssystem, um die Position der Probenbühne innerhalb der Probenkammer und ggfs. ihre Verfahrgeschwindigkeit festzustellen. Als Rückmesssystem kann ein Encoder mit der Spindel verbunden sein, oder es sind abseits der Spindel positionierte Encoder auf Glasmessstäben vorgesehen.

Besonders bevorzugt wird ein Laserinterferometer verwendet, um eine größtmögliche Genauigkeit der Bewegungsüberwachung zu erreichen. Dieses erlaubt mit seiner Ortsauflösung im Sub-Nanometer Bereich auch das erfolgreiche Anfahren von Strukturen auf Chips, die repetitiv im Bereich einiger Nanometer sind, zum Beispiel Speicherstrukturen. Das Untersuchen von kritischen Punkten in repetitiven Strukturen erfordert eine örtliche Präzision, die deutlich besser ist als die Hälfte des Wiederholabstandes (Pitch) der Struktur.

Eine besonders bevorzugte Ausführungsform sieht vor, dass in den Antriebsvorrichtungen beider Achsen jeweils additiv ein Schiebe-Piezo-Aktor (shift piezo actor) zum Einsatz kommt. Die Schiebe-Piezo-Aktoren können, anders als die Hauptantriebe, z.B. DC-Motoren, die Probenbühne kontinuierlich und rucklos verschieben. Aufgrund der sehr kleinen Verfahrswege, die durch Verwendung der Schiebe-Piezo-Aktoren möglich sind, ist in dieser Ausführungsform die Verwendung eines Laserinterferometers als Rückmesssystem erforderlich, um die mögliche Präzision im nm Bereich voll auszunutzen.

Schließlich umfasst die Analysevorrichtung auch eine Bühnensteuerungseinheit, um die Antriebe der Probenbühne anzusteuern.

Nachfolgend wird die Durchführung einer Analyse beschrieben, bei der eine Analysevorrichtung verwendet wird, die eine Bühnensteuerungseinheit für die Probenbühne und einen Steuer-PC für das Sekundärionen-Massenspektrometer besitzt, sowie eine Ionen säule, bei der der Ionenstrahl über elektrostatische oder elektromagnetische Felder abgelenkt wird, wozu eine weitere Steuerungseinheit vorgesehen ist.

Sofern separate Steuerungseinheiten für die Probenbühne, für die Steuerung des Ionenstrahls durch Ablenkung und für das Sekundärionen-Massenspektrometer vorgesehen sind, sieht die Erfindung eine Datenverknüpfung zwischen den Steuerungseinheiten vor, um die Aussendung des Ionenstrahls mit der Bewegung der Bühne zu koordinieren.

Alle Steuerungseinheiten für den Ionenstrahl, die Probenbühne und das SIMS werden durch eine Globalsteuerungseinheit überwacht und gesteuert. Die genannten Steuerungseinheiten können physikalisch getrennt ausgebildet sein oder durch integrierte Module innerhalb der Globalsteuerungseinheit gebildet sein.

In einem ersten Schritt wird die Ionenquelle gestartet, sodass ein stabiler Ionenstrahl emittiert wird. Weiterhin wird ein Alignment der Säule durchgeführt, sodass der Strahl mittig durch die Strahlblende mit dem kleinstmöglichen

Durchmesser, je nach Durchmesser der Strahlblende, und runder Form auf die Probe auftreffen kann. Diese Prozedur wird auf einer „Dummy“-Probe oder an einer Ecke der eigentlichen Probe durchgeführt, damit keine Beschädigung der ROIs durch Sputtern oder Ionenimplantierung erfolgen kann.

Sobald die zuvor beschriebenen Vorbereitungen abgeschlossen sind, kann eine erste Zielfahrt der Probenbühne durchgeführt werden, z. B., um den Bereich einer der Positionierungsmarken auf der Halbleiterprobe anzufahren. Dazu kommt ein Fahrkommando mit einer X-Y-Zielkoordinate vom Steuer-PC zur Bühnensteuerungseinheit. Diese berechnet zunächst ein Fahrprofil, also X-Y-Sollwerte vom Startzeitpunkt bis zur Ankunft, wobei das Profil typischerweise Beschleunigungs- und Abbremsvorgänge beinhaltet.

Nach der Erstellung des Profils wird die Fahrt ausgeführt, wobei die Bühnensteuerungseinheit permanent, beispielsweise mit einer Frequenz von 10 kHz folgende Aktionen steuert bzw. Überprüfungen vornimmt:

- Sie sendet Steuergrößen auf die Aktoren, z.B. Spannungen für die DC-Motoren des Antriebssystems.
- Sie misst die momentane Ist-Position per Laserinterferometer.
- Sie führt einen SOLL-IST-Vergleich der Position durch und korrigiert die Steuergrößen der Aktoren entsprechend.

Die Bühnensteuerungseinheit stellt das Erreichen der Zielposition fest, sobald sich die Ist-Position in einem vorgewählten Toleranzfeld, dem sogenannten Fehlerschlauch, befindet. Dieser wird typischerweise auf das 2fache der Spot Size des Ionenstrahls festgelegt. Beträgt die Spot Size beispielsweise 5 nm, so wird die Größe des Fehlerschlauchs auf 10 nm festgelegt.

Die Bühnensteuerungseinheit schaltet die Aktoren dann ab und sendet dem Steuer-PC eine Nachricht, dass die Zielposition erfolgreich angefahren wurde.

Bei einer bevorzugten Analysevorrichtung zur Durchführung des Untersuchungsverfahrens nach der Erfindung sind folgende typische Größenordnungen gegeben:

- Kantenlänge einer zu untersuchenden Halbleiterprobe: 100 mm;
- Entfernung von Positionierungsmarken: 1 bis 100 mm;
- Fahrstrecke bei einer Zielfahrt, z. B. von Die zu Die: 5 mm;
- Anzahl vorausberechneter SOLL-X-Y Werte zur Erstellung eines Fahrprofils entlang der Fahrstrecke: ca. 50.000;
- Fahrgeschwindigkeit: 2 mm/s (DC-Motoren mit Spindeln), bis hin zu 20 mm/s (Piezo-Linear-Antriebe);
- Fehlerschlauch für Zielankunft: 10nm.

Beschreibung eines Ausführungsbeispiels

Die Erfindung wird nachfolgend mit Bezug auf das in den Zeichnungen dargestellte Ausführungsbeispiel einer Analysevorrichtung näher erläutert. Die Figuren zeigen im Einzelnen:

Fig. 1 eine Analysevorrichtung zur Untersuchung einer Halbleiterprobe in schematischer Darstellung;

Fig. 2 die Bahn eines Primärionenstrahls auf einer Halbleiterprobe in schematischer, perspektivischer Ansicht und

Fig. 3A, 3B jeweils eine Halbleiterprobe auf einer Probenbühne von oben.

In Figur 1 ist eine Analysevorrichtung 100 zur Untersuchung einer Halbleiterprobe dargestellt. Diese entspricht weitgehend dem bekannten Aufbau eines Sekundärelektronenmassenspektrometers, wobei nur die Wahl einer Probenbühne 20 speziell zur Durchführung des Untersuchungsverfahrens nach der Erfindung angepasst ist.

In einem druckfesten und luftdicht verschließbaren Gehäuse 10 ist eine Hochvakuum-Probenkammer 11 gebildet. Darin ist die Probenbühne 20 angeordnet. Sie umfasst eine Basis 21, die fest mit dem Gehäuse 10 verbunden ist, und die eigentliche Probenbühne 20, auf der eine Halbleiterprobe 30 befestigbar ist und die gegenüber der Basis zumindest zweidimensional verfahrbar ist, und zwar in der Regel in einem kartesischen Koordinatensystem. Die Hochvakuum-

Probenkammer 11 ist evakuierbar, sodass ein Hochvakuum angelegt werden kann. Eine Primärionenquelle 12 ist in einer vertikal ausgerichteten Säule an der Oberseite des Gehäuses 20 angeordnet. Der von dort ausgesandte Ionenstrahl 13 ist normal zur Probenbühne 20 ausgerichtet.

Zwischen der Primärionenquelle 12 und der Probenbühne 20 ist eine Extraktionseinheit 14 angeordnet, die dazu dient, die aus einer auf der Probenbühne 20 platzierten Halbleiterprobe herausgelösten Sekundärionen aufzufangen, zu bündeln und seitlich abzuleiten. Der derart gebildete und zur Seite gelenkte Sekundärionenstrahl 16 wird durch Transferlinsen 15 gebündelt und zu einer Massenspektrometereinheit 17 geleitet, wo die Sekundärionen entsprechend ihrem Masse-Ladungs-Verhältnis getrennt und auf einen Detektor geführt werden.

Der bewegliche Teil der Probenbühne 20 wird durch eine Bühnensteuerungseinheit 22 gegenüber der Basis verfahren. Die Bühnensteuerungseinheit 22 ist mit einem Steuer-PC 18 verbunden, durch den auch die Primärionenquelle 12 gesteuert wird und auf dem die im Detektor der Massenspektrometereinheit 17 generierten Signale visualisiert werden.

Figur 2 zeigt in einer schematischen, perspektivischen Ansicht eine Halbleiterprobe 30, die auf der Probenbühne platziert ist. Sie umfasst mehrere zu untersuchende Halbleiterstrukturen, die jeweils eine Region-of-Interest (ROI) 31 bilden, und insgesamt drei Positionierungsmarken 33, 34, 35 in zwei Randstreifen. Durch die Bewegung der Probenbühne kann die Halbleiterprobe 30, anhand eines durch die Steuerungseinheit der Probenbühne vorgegebenen Bewegungspaths 32 relativ zu dem ortsfest angeordneten und vertikal ausgerichteten Primärionenstrahl 13 bewegt wird. Dadurch kann ein Linienscan 42 durchgeführt werden oder ein Abbild 31 der Halbleiterprobe 30, oder einzelner ROIs 31 darauf, erzeugt werden. Außerdem können die Bereiche mit den kreuzförmigen Positionierungsmarken 33, 34, 35 gezielt angefahren werden.

In Figur 3A ist die auf der Probenbühne 20 befestigte Halbleiterprobe 30 von oben gezeigt. Wie durch die Blockpfeile angedeutet, kann die Probenbühne 20 in X- und Y-Richtung verfahren werden. Zu Beginn des Untersuchungsverfahrens wird die Probenbühne 20 so positioniert, dass sich der Ionenstrahl oberhalb einer Positionierungsmarke 35 befindet. Eine Soll-Position 35' für die Positionierungsmarke 35 ist aus den Herstellungsdaten der Halbleiterprobe 30 abgeleitet. Die Soll-Position 35' ist in Figur 3A durch die gestrichelt dargestellten Kreuze gekennzeichnet. Schon aufgrund der manuellen Platzierung der Halbleiterprobe 30 auf der Probenbühne 20 ist eine Abweichung zwischen der theoretischen, aus CAD-Daten der Halbleiterprobe 30 ermittelten Soll-Position 35' und der Ist-Position zu erwarten. Daher wird an der Soll-Position 35' der Primärionenstrahl 13 eingeschaltet, um einen bildgebenden Vorabschscan durchzuführen, der durch den gestrichelten Kreis dargestellt ist. Im Randbereich des Erfassungsbereichs um die Soll-Position 35' herum wird die Positionierungsmarke 35 erkannt.

Der Vorabschscan wird durch Anfahren der Soll-Positionen 33', 34' für die Positionierungsmarken 33, 34 wiederholt, um auch mögliche Rotations- und Zoomfehler zu erkennen. Mit den in den Vorab-Scans bestimmten Abweichungen werden das aus den CAD-Daten der Halbleiterprobe 30 abgeleitete Koordinatensystem und das auf der Probenbühne tatsächlich gegebene Koordinatensystem in Übereinstimmung gebracht, so dass alle Soll-Positionen mit den Ist-Positionen übereinstimmen, wie in Figur 3B gezeigt.

Von der zuletzt für einen Vorabschscan angefahrenen Positionsmarke 34 aus kann mittels der Steuereinheit ein Bewegungspfad 32 generiert werden, um den Primärionenstrahl 13 exakt auf einer ROI 31 zu platzieren, um dort einen Analysescan durchzuführen.

Bezugszeichenliste

100	Analysevorrichtung
10	Gehäuse
11	Probenkammer
12	Primärionenquelle
13	fokussierter Ionenstrahl
14	Extraktionseinheit
16	Sekundärionenstrahl
15	Transferlinsen
17	Massenspektrometereinheit
18	Steuer-PC
20	Probenbühne
22	Bühnensteuerungseinheit
30	Halbleiterprobe
31	Region-of-Interest (ROI)
32	Bewegungspfad
33, 34, 35	Positionierungsmarken
33', 34' 35'	Soll-Positionen
36	Halbleiterstruktur
41	Abbild
42	Linien-scan

Patentansprüche:

1. Untersuchungsverfahren für eine Halbleiterprobe (30) mittels eines Sekundärionen-Massenspektrometers (SIMS) mit einem materialabtragenden, fokussierten Ionenstrahl (FIB) (13), mit wenigstens folgenden Schritten:
 - Positionieren der Halbleiterprobe (30) auf einer Probenbühne (20);
 - Durchführen eines Analysescans durch Bestrahlen wenigstens einer Region-of-Interest (ROI) (31) in wenigstens einer Halbleiterstruktur (36) auf der Halbleiterprobe (30) mit dem Ionenstrahl (13) zum Herauslösen von Sekundärionen aus der Halbleiterstruktur (36);
 - Registrierung der Sekundärionen in einer Massenspektrometereinheit (17) zur Erzeugung eines elektronischen Abbilds (41) und/oder eines sonstigen Datensatzes zur Charakterisierung der Halbleiterstruktur (36) im Bereich des bestrahlten ROI (31);

gekennzeichnet durch wenigstens folgende Schritte:

- Verwenden einer Halbleiterprobe (30), die auf demselben Substrat die zu analysierende Halbleiterstruktur (36) und wenigstens eine Positionierungsmarke (33, 34, 35) besitzt,
- Verwenden einer in wenigstens zwei Dimensionen gegenüber dem Ionenstrahl (13) verfahrbaren Probenbühne (20);
- Bereitstellen von Navigationsdaten für die Halbleiterprobe (30) mit der Halbleiterstruktur (36) und der Positionierungsmarke (33, 34, 35);
- Durchführen eines Vorabskans durch datenbasiertes Navigieren zu einer aus den Navigationsdaten abgeleiteten Position einer Positionierungsmarke (33, 34, 35) und Bestrahlen des Bereichs der Halbleiterprobe (30) mit dem Ionenstrahl (13) mit großem Scanbereich;
- Nachjustieren (Alignment) eines internen Koordinatensystems für die Probenbühne (20) durch Vergleich der aus den Navigationsdaten abgeleiteten Position der Positionierungsmarke (33, 34, 35) auf der

- Probenbühne (20) mit der durch den Vorabschscan ermittelten Position der Positionierungsmarke (33, 34, 35);
- Positionieren des Ionenstrahls (13) über der zu analysierenden ROI (31) durch datenbasiertes Navigieren der Probenbühne (20) und/oder seitliches Ablenken des Ionenstrahls (13), wobei der zu der Position führende Verfahrensweg der Probenbühne (20) und/oder der Betrag der seitlichen Ablenkung des Ionenstrahls (13) aus den Navigationsdaten der Halbleiterprobe (30) berechnet wird;
 - Durchführen eines SIMS-Analysescans zur Erzeugung des elektronischen Abbilds (41) und/oder des sonstigen Datensatzes durch Bestrahlen der Halbleiterstruktur (36) mittels des Ionenstrahls (13) mit einem gegenüber dem Vorabschscan reduzierten Scanbereich.
2. Untersuchungsverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Halbleiterprobe (30) verwendet wird, die auf demselben Substrat wie die zu analysierende Halbleiterstruktur (36) wenigstens drei davon abgesetzt angeordnete Positionierungsmarken (33, 34, 35) besitzt, die nicht alle auf derselben Geraden angeordnet sind.
3. Untersuchungsverfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem Vorabschscan von wenigstens drei Positionierungsmarken (33, 34, 35) Korrekturdaten für eine Lagenkorrektur im Bezugssystem der Probenbühne (20) und/oder für die Höhenlage der Halbleiterprobe (30) auf der Probenbühne (20) gegenüber einer den fokussierten Ionenstrahl (13) aussendenden Primärionensäule (12) und/oder ein Rotationsfehler der Halbleiterprobe (30) gegenüber dem ortsfesten Gehäuse (10) mit der Primärionensäule (12) ermittelt werden und das Alignment anhand dieser Korrekturdaten durchgeführt wird.
4. Untersuchungsverfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass mehr als ein Satz von mindestens drei Positionierungsmarken (33, 34, 35) auf der Halbleiterprobe (30) vorgesehen ist.

5. Untersuchungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Positionierungsmarken (33, 34, 35) abgesetzt von der Halbleiterstruktur (36) auf der Halbleiterprobe (30) angeordnet sind.
6. Untersuchungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Positionierungsmarken (33, 34, 35) in einer Dicke gebildet sind, die größer ist als die Schichtdicke der in späteren Analysescans aufzuklärenden ROI (31) in der Halbleiterstruktur (36).
7. Untersuchungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Rastergeschwindigkeit, mit der der fokussierte Ionenstrahl (13) zum Zwecke des Alignments in einem Vorabscan über die Fläche geführt wird, gegenüber einer Rastergeschwindigkeit in dem später folgenden Analysescan erhöht ist.
8. Untersuchungsverfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Rastergeschwindigkeit beim Vorabscan auf das 2fache bis 4fache der Rastergeschwindigkeit beim Analysescan erhöht ist.
9. Untersuchungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die flächige Ausdehnung der Positionierungsmarken (33, 34, 35) in der Ebene der Probenbühne (20) jeweils groß im Verhältnis zur Größe der ROI (31) ist.
10. Untersuchungsverfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die flächige Ausdehnung der Positionierungsmarken (33, 34, 35) das 2fache bis 4fache der flächigen Ausdehnung der ROI (31) beträgt, wobei die flächigen Ausdehnung der ROI wenigstens das Doppelte der Größe des fokussierten Ionenstrahls (13) ist.
11. Untersuchungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der fokussierte Ionenstrahl (13) in wenigstens einem durch Navigationsdaten vorab definierten Streckenzug über die Halbleiterprobe (30) geführt wird.

12. Untersuchungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass durch mehrfache Ausführung des Analysescans mit denselben Navigationsdaten wenigstens eine oberliegende Halbleiterschicht partiell abgetragen wird und eine Untersuchung in einer unterhalb der partiell abgetragenen Halbleiterschicht befindlichen weiteren Halbleiterschicht ermöglicht wird.
13. Analysevorrichtung (100), zur Durchführung des Untersuchungsverfahrens für eine Halbleiterprobe (30) mittels eines Sekundärionen-Massenspektrometers (SIMS) mit einem fokussierten Ionenstrahl (13) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wenigstens umfassend
- ein Sekundärionen-Massenspektrometer, umfassend
 - o eine Primärionensäule (12), die eine Primärionenquelle enthält und die Ionen beschleunigt und als fokussierten Ionenstrahl (13) auf die Halbleiterprobe (30) bringt;
 - o eine Hochvakuum-Probenkammer (11), in der die Halbleiterprobe (30) und eine Extraktionseinheit (14) für Sekundärionen angeordnet sind sowie;
 - o eine Massenspektrometereinheit (17) mit einem Detektor;
 - eine Probenbühne (20), die zumindest in zwei Flächenkoordinaten über Antriebssysteme seitlich verfahrbar ist, wobei eine Auflageebene der Probenbühne (20) normal zum fokussierten Ionenstrahl (13) ausgerichtet ist;
 - ein Rückmesssystem, um die Position der Probenbühne innerhalb der Hochvakuum-Probenkammer (11) zu bestimmen und
 - eine Bühnensteuerungseinheit (22) zur Ansteuerung der Antriebssysteme an der Probenbühne (20) und/oder eine Steuerungseinheit zur Ablenkung des fokussierten Ionenstrahls (13) in Abhängigkeit von den durch das Rückmesssystem erhaltenen IST-Positionsdaten und/oder den aus Navigationsdaten der Halbleiterprobe (30) abgeleiteten SOLL-Positionsdaten.

14. Analysevorrichtung (100) nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Antriebssysteme über DC-Motoren und Spindeln gebildet sind, wobei als Rückmesssystem jeweils ein Encoder mit der Spindel verbunden ist.
15. Analysevorrichtung (100) nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Antriebssysteme jeweils als DC-Motor-Spindel-Kombination ausgebildet sind, die um einen Schiebe-Piezo-Aktor ergänzt sind und dass das Laserinterferometer als Rückmesssysteme vorgesehen sind.