

①9 **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 196 06 478 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁶:
H 01 J 37/317
H 01 J 37/304
G 05 D 3/12
G 01 N 1/28

⑳1 Aktenzeichen: 196 06 478.3
⑳2 Anmeldetag: 21. 2. 96
⑳3 Offenlegungstag: 28. 8. 97

⑦1 Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE;
Forschungszentrum Rossendorf eV, 01474
Schönfeld-Weißig, DE

⑦2 Vertreter:
Anwaltskanzlei München, Rösler, Steinmann, 80689
München

⑦2 Erfinder:
Köhler, Bernd, Dr.rer.nat., 01279 Dresden, DE;
Bischoff, Lothar, Dr.rer.nat., 01239 Dresden, DE;
Teichert, Jochen, Dr.rer.nat., 01239 Dresden, DE

⑤6 Entgegenhaltungen:
MURPHY, J.C., MACLACHLAN, J.W., AAMODT,
LC.: Image Contrast Processes in Thermal an
Thermo- acoustic Imaging. In: IEEE Transactions on
Ultra- sonics, Ferroelectrics, and Frequency Control,
1986, Vol. UFFC-33, No. 5, S. 529-541;
ORLOFF, J.: High-Resolution Focused Ion Beams. In:
Rev.Sci.Instrum., 1993, Vol. 64, No. 5, S. 1105-1130;

Prüfungsantrag gern. § 44 PatG ist gestellt

- ⑤4 Vorrichtung und Verfahren zur gezielten Probenbearbeitung, vorzugsweise von Halbleiterbauelementen, mittels einer Ionen-Feinstrahlanlage
- ⑤7 Beschrieben wird eine Vorrichtung zur gezielten Probenbearbeitung, vorzugsweise von Halbleiterbauelementen, mittels einer Ionen-Feinstrahlanlage, mit einer Ionenstrahlquelle zur Erzeugung eines auf eine Oberfläche der Probe fokussierten Ionenstrahls, der in der Probe akustische Wellen generiert, die von einem an der Probe angeordneten Sensor erfaßbar sind, dessen Sensorsignale an einer Auswerteeinheit anliegen und durch die eine räumliche Zuordnung zwischen Ionenstrahl und Probe möglich ist.

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur gezielten Probenbearbeitung, vorzugsweise von Halbleiterbauelementen, mittels einer Ionen-Feinstrahlanlage.

Anlagen der obengenannten Gattung erzeugen einen Ionenstrahl typischerweise mit einer Stromstärke zwischen 50 pA und 10 nA sowie einer Energie zwischen 10 keV und 150 keV. Der Ionenstrahl wird dabei zu einem Strahl sehr feinen Durchmessers von etwa 100 nm fokussiert.

Ein Ablensystem ermöglicht es den Strahl willkürlich über die Probenoberfläche zu fahren. Ionen-Feinstrahlanlagen und ihre Komponenten sind in dem Artikel von P.D. Prewett and G.L.R. Mair, „Focused Ion Beams from Liquid Metal Ion Sources“, in Research Studies Press Ltd, 1991, ausführlich beschrieben.

Ionen-Feinstrahlanlagen besitzen eine zunehmende Bedeutung für mikroelektronische und mikrosystemtechnische Anwendungen. Mit diesen Anlagen gelingt es z. B., metallisch leitfähige Strukturen im μm -Bereich in Halbleitermaterialien zu generieren und auf diese Weise zu neuartigen Bauelementen zu gelangen. Andererseits kann für die schnelle Prototypenherstellung von neu entworfenen Schaltkreisen eine Analyse, Reparatur und Modifikation von Schaltkreismustern vorgenommen werden. Dies wird durch die Einbringung von räumlich genau lokalisierten Mikroschnitten in die Struktur mit anschließender Abbildung der Schnittfläche, der Durchtrennung elektrischer Verbindungen und die Herstellung neuer Verbindungen durch Metallisierung erreicht.

Eine genaue Positionierung des Ionenstrahls ist in allen Anwendungen außerordentlich wichtig. Dazu wird der Ionen-Feinstrahl vorzugsweise als Rasterionenmikroskop verwendet und damit ein Bild der Probenoberfläche erzeugt. Mit Hilfe von Marken oder markanten Strukturen wird die Position ermittelt, an der die Bearbeitung mit dem Ionenstrahl erfolgen soll.

Bisher werden für die kontrollierte Ionenstrahlführung über die Probenoberfläche Sekundärelektronen oder -ionen für einen Bildaufbau genutzt. Spezifische Nachteile der Abbildung mit Sekundärteilchen bestehen darin, daß mit einer Absaugspannung gearbeitet werden muß, die unter Umständen den primären Ionenstrahl stören kann.

Bei elektrisch isolierenden Targets muß mit einem zusätzlichen Elektronenstrahl die elektrostatische Aufladung kompensiert werden, so daß in diesen Fällen kein Sekundärelektronenbild erzeugt werden kann. Bedingt durch die geringe Reichweite der Ionen im Festkörper, kann die Bildinformation nur von der Oberfläche oder aus sehr oberflächennahen Bereichen gewonnen werden. Die in vielen Fällen zu bearbeitenden, vergrabenen Strukturen sind auf diese Weise nicht sichtbar.

Eine bekannte Möglichkeit zur überwachten Ionenstrahlführung über die Probenoberfläche ist die Kombination des Ionen-Feinstrahls mit einem Rasterelektronenmikroskop. Obwohl Elektronen eine größere Eindringtiefe besitzen, bleibt auch hierbei der Nachteil bestehen, daß im Wesentlichen nur eine Abbildung der Oberfläche oder oberflächennaher Strukturen möglich ist, wobei jedoch schwierige Probleme der gegenseitigen Positionierung der beiden nicht koaxialen Strahlen zu beherrschen sind.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur gezielten Probenbear-

beitung, vorzugsweise von Halbleiterbauelementen, mittels einer Ionen-Feinstrahlanlage derart auszubilden, mit dem die dem Stand der Technik anhaftenden Nachteile, insbesondere die fehlende Möglichkeit, vergrabene Strukturen abzubilden, überwunden wird. Die Vorrichtung soll insbesondere eine Probenbearbeitung und zugleich eine visuelle Überwachungsmöglichkeit bieten, mit der die aktuelle Lage des Ionenstrahls auf der Probenoberfläche erfaßt werden kann. Es soll eine Einheit von Bilderzeugung und Probenbearbeitung geschaffen werden, d. h. der feinfokussierte Ionenstrahl soll neben der Probenbearbeitung auch als Quelle für Bildsignale verwendet werden, um Bildzuordnungsprobleme zu vermeiden.

Die Lösung der Erfindung ist in den Ansprüchen 1 und 10 angegeben. Vorteilhafte Ausbildungsformen sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 9 sowie 11 bis 14.

Erfindungsgemäß wird eine Vorrichtung zur gezielten Probenbearbeitung, vorzugsweise von Halbleiterbauelementen derart ausgebildet, daß mittels einer Ionen-Feinstrahlanlage eine räumliche Zuordnung zwischen Ionenstrahl und Probe möglich ist.

Hierzu weist die Ionenfeinstrahlanlage eine Ionenstrahlquelle zur Erzeugung eines auf eine Oberfläche der Probe fokussierten Ionenstrahls auf, der in der Probe akustische Wellen generiert, die von einem an der Probe angeordneten Sensor erfaßbar sind, dessen Sensorsignale an einer Auswerteeinheit anliegen. Die Sensorsignale enthalten alle wichtigen Informationen, die für eine Bilderzeugung notwendig sind.

Vorzugsweise wird der Ionenstrahl mit einer vorgegebenen Frequenz gepulst. Die durch den gepulsten Ionenstrahl in der Probe erzeugten akustischen Wellen werden mit Hilfe eines piezoelektrischen Sensors, der bevorzugt auf der Probenrückseite, dem Eintrittsort des Ionenstrahls auf der Probenoberfläche gegenüberliegend, angebracht ist, detektiert. Das gewonnene, verstärkte und bearbeitete elektrische Signal wird erfindungsgemäß als Bildinformation genutzt.

Die der Erfindung zugrundeliegende Idee beruht grundsätzlich auf der Kenntnis von Wellen, insbesondere Ultraschallwellen, die eine zerstörungsfreie Untersuchung von Materialien ermöglichen, da sie diese durchdringen. Infolge der Streuung und Reflexion dieser Wellen an Inhomogenitäten und Grenzflächen können Informationen über den inneren Aufbau gewonnen werden. Die Messung der akustischen Signale erfolgt für gewöhnlich mit Hilfe piezoelektrischer Sensoren.

Die erfindungsgemäße Lösung besitzt den entscheidenden Vorteil, daß gegenüber der Detektion von Elektronen oder Ionen die akustischen Wellen die Probe vollständig durchdringen und damit u.a. vergrabene Strukturen sichtbar werden.

Indem der gepulste Ionenstrahl die Quelle der akustischen Welle darstellt, die erfindungsgemäß zugleich als Bildsignal verwendet wird, d. h. Bilderzeugung und Bearbeitung ist mit dem gleichen Strahl möglich, ist von vornherein eine genaue Zuordnung von Bildposition und Bearbeitungsposition möglich.

In vielen Anwendungsfällen wird mit Ionen-Feinstrahl eine vergrabene Struktur zur Analyse oder Modifikation durch Ionenstrahlerstäubung freigelegt. Bisher wurde diese Struktur blind freigelegt indem mit Hilfe von Marken an der Probenoberfläche und eines Layouts die wahrscheinliche Position ermittelt wurde. Die ionenakustische Abbildung kann eine direkte Abbildung der vergrabenen Struktur ermöglichen und erleichtert dadurch wesentlich die Suche und verbessert die Ge-

nauigkeit der Bearbeitung.

Die Auswertung des ionenakustischen Bildsignals ermöglicht es, eine Vielzahl von Informationen über das untersuchte Material zu erhalten, wie beispielsweise, Aussagen über Wärmediffusionseigenschaften, elastische und thermoelastische Eigenschaften, Schichtaufbau und Zusammensetzung, Material- und Struktur-
grenzflächen.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur gezielten Probenbearbeitung, vorzugsweise für die Bearbeitung von Halbleiterbauelementen unter Verwendung der Vorrichtung gemäß Anspruch 1 ist derart ausgebildet, daß der Ionenstrahl über eine Probenoberfläche geführt wird, wobei die innerhalb der Probe entstehenden akustischen Wellen im Sensor Signale erzeugen, die Informationen über Phase und Amplitude der akustischen Wellen enthalten und die zur bildlichen Darstellung der Probenoberfläche bzw. der inneren Probenstruktur genutzt werden. Mit Hilfe eines geeigneten Ablenk-
systems wird der sehr fein fokussierte Ionenstrahl vorzugsweise in Rasterlinienform über die gesamte Probenoberfläche geführt, um diese regelrecht abzuscannen.

Für den bloßen Scanvorgang, d. h. für eine bloße visuelle Beobachtung der Probe wird ein Ionenstrahlstrom verwendet, der die Probenoberfläche nicht wesentlich beeinträchtigt. Die Strahlführung auf der Probenoberfläche kann manuell oder auch automatisch gesteuert erfolgen, indem die Steuerung auf der Grundlage der in Echtzeit gewonnenen Bildinformationen erfolgt

Ist der Ionenstrahl an einer gewünschten Position auf der Probenoberfläche ausgerichtet, so wird der Ionenstrahlstrom zur Probenbearbeitung entsprechend erhöht, so daß beispielsweise Oberflächen- bzw. Tiefenmodifikationen vorgenommen werden können.

Die Erfindung wird nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnung exemplarisch beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 schematisierte Darstellung einer erfindungsgemäßen Ionen-Feinstrahlanlage zur Probenbearbeitung und-beobachtung.

Fig. 1 zeigt die wesentlichen Komponenten einer Ionen-Feinstrahlanlage mit einem ionenakustischen Bildsystem m einem Ausführungsbeispiel. Die Ionensäule **1** der Ionen-Feinstrahlanlage weist eine Ionenquelle **Q**, elektrische Linsen **L**, Austastplatten **P**, eine Austastblende **B** sowie ein Ablenkssystem **A** auf.

Der durch die Fokussieroptik sehr eng begrenzte Durchmesser des Ionenstrahls **2** in der Größenordnung von etwa 100 nm ist auf die Oberfläche der Probe **T** gerichtet. Der Auftreffpunkt des Ionenstrahls **2** auf der Oberfläche der Probe **T** ist in einer vergrößerten Darstellung in **Fig. 1** ersichtlich. Angeregt durch die lokale Erwärmung der Probenoberfläche bilden sich thermoakustische Wellen aus und pflanzen sich kugelförmig im Volumen der Probe **T** aus. Diese elastischen, thermoakustischen Wellen gelangen auf einen akustischen Sensor **AS** der auf der Probenunterseite angebracht ist.

Durch entsprechende Ansteuerung des Ablenk-
systems **A** ist es möglich, den Ionenstrahl beliebig auf der Probenoberfläche zu führen. Vorzugsweise bieten sich Rasterlinien für die Ionenstrahlableitung an.

Vorzugsweise ist der akustische Sensor mit einem integrierten Vorverstärker ausgestattet, der in Folge mit einem Lock-In-Verstärker **LIV** verbunden ist. Ferner wird dem Lock-In-Verstärker **LIV** das Ansteuersignal zur Strahlpulsung von einem Scan-Prozessor **S** zugeführt, so daß am Ausgang des Lock-In-Verstärkers

LIV die Amplituden- und Phasensignale der mit Hilfe des akustischen Sensors **AS** gewonnenen Meßsignale anliegen. Diese werden einem Steuerrechner **SR** mit angeschlossenem Bildsystem zur Verfügung gestellt. Die aus dem Lock-In-Verstärker **LIV** und dem Steuerrechner **SR** gebildete Auswerteeinheit ermöglicht die visuelle Darstellung der Probenoberfläche bzw. der inneren Probenstruktur. Insbesondere ist es möglich die Relativ-Zuordnung des Ionenstrahls **2** gegenüber der Probe **T** zu überwachen.

Für die kontrollierte Ionenstrahlführung ist der Scan-Prozessor **S** mit einem Ablenkssystem **A** verbunden, das den Ionenstrahl seitlich ablenkt. Ferner ist zur Einstellung der Ionenstrahlstromstärke der Scan-Prozessor **S** mit einem Austastverstärker verbunden, der das Elektrodendpotential der Austastplatten **P** bestimmt.

Alternativ zur Versorgung des Lock-In-Verstärkers **LIV** mit dem Signal zur Strahlpulsung kann ein externer Signalgenerator **SG** verwendet werden.

Der Scanprozessor **S** liefert die Impulse für den Austastverstärker **V**, der wiederum das Potential an den Austastplatten **P** steuert, um den Ionenstrahl periodisch auf die Austastblende **B** abzulenken.

Scanprozessor **S**, Ablenkverstärker **V** und Ablenk-
system **A** ermöglichen es, mit dem Ionenstrahl die Probe **T** abzurastern. Der akustische Sensor **AS** mit integriertem Vorverstärker befindet sich unter der Probe **T**.

Von dort wird dem Lock-In-Verstärker **LIV** das piezoelektrische Signal zugeleitet. Gleichzeitig erhält der Lock-in-Verstärker **LIV** das Signal zur Strahlpulsung vom Scanprozessor **S**.

Das gewonnene Amplituden- und Phasensignal des Lock-in-Verstärkers **LIV** wird dem Steuerrechner **SR** mit Bildspeicher zugeführt

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur gezielten Probenbearbeitung, vorzugsweise von Halbleiterbauelementen, mittels einer Ionen-Feinstrahlanlage, mit einer Ionenstrahlquelle zur Erzeugung eines auf eine Oberfläche der Probe fokussierten Ionenstrahls, der in der Probe akustische Wellen generiert, die von einem an der Probe angeordneten Sensor erfaßbar sind, dessen Sensorsignale an einer Auswerteeinheit anliegen und, durch die eine räumliche Zuordnung zwischen Ionenstrahl und Probe möglich ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteeinheit zur Bilderzeugung geeignet ist, durch die eine visuelle Darstellung eines Abbildes von der Probenoberfläche oder von Probenquerschnittprofilen möglich ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Ionenstrahl gepulst betreibbar ist.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der auf die Probe gerichtete Ionenstrahl einen Durchmesser von etwa 100 nm aufweist.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor ein piezoelektrischer Sensor ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor einen integrierten Vorverstärker aufweist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteeinheit einen Verstärker und einen Steuerrechner mit ei-

nem Bildsystem aufweist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Steuerrechner mit einer Ionenstrahlableitvorrichtung verbunden ist, die aus einem Scanprozessor und einem Ablenkensystem besteht. 5

9. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Verstärker ein Lock-In-Verstärker ist, der mit der Modulation des gepulsten Ionenstrahls synchronisierbar ist

10. Verfahren zur gezielten Probenbearbeitung, vorzugsweise von Halbleiterbauelementen, mittels Ionenstrahl unter Verwendung der Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Ionenstrahl über eine Probenoberfläche geführt wird, wobei die innerhalb der Probe entstehenden akustischen Wellen im Sensor Signale erzeugen, die Informationen über Phase und Amplitude der akustischen Wellen enthalten und zur bildlichen Darstellung der Probenoberfläche bzw. der inneren Probenstruktur genutzt werden. 10
15
20

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß zur bloßen bildlichen Darstellung der Probe eine Ionenstrahlstrom verwendet wird, die die Probenoberfläche nicht wesentlich beeinträchtigt. 25

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Ionenstrahlführung auf der Probenoberfläche anhand der simultanen Bild-darstellung gesteuert wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerung manuell erfolgt. 30

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß bei gewünschter Positionierung des Ionenstrahls auf der Probenoberfläche die Ionenstrahlstrom für die Probenbearbeitung entsprechend gesteigert wird. 35

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

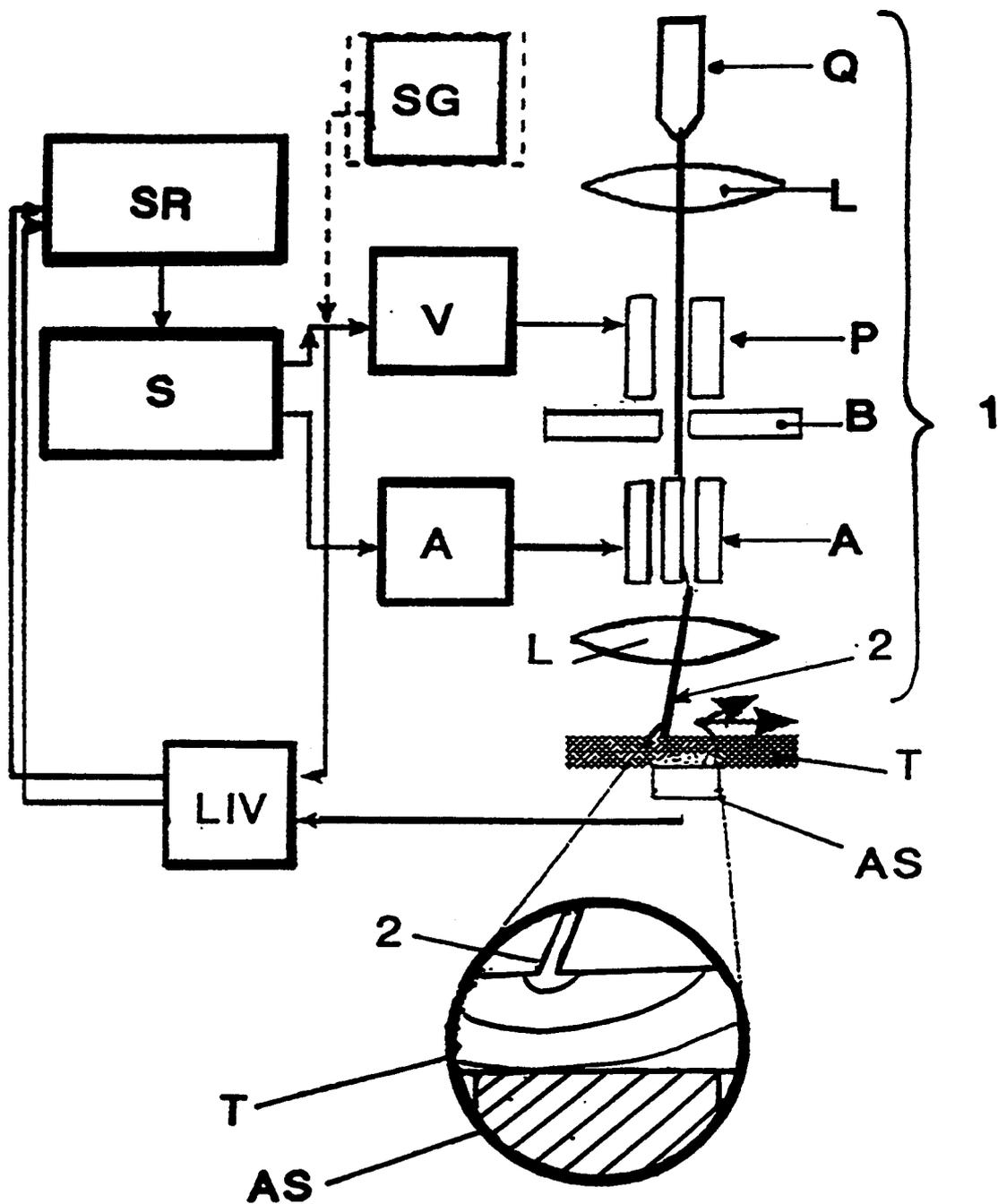


Fig. 1