

51

Int. Cl. 2:

H 01 J 37/30

19 **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

H 01 L 21/26



DE 28 05 602 A 1

11

Offenlegungsschrift 28 05 602

21

Aktenzeichen: P 28 05 602.2

22

Anmeldetag: 10. 2. 78

43

Offenlegungstag: 17. 8. 78

31

Unionspriorität:

32 33 31

14. 2. 77 V.St.v.Amerika 768611

54

Bezeichnung: Einrichtung zur Bestrahlung einer Zieloberfläche mit einem variablen Elektronenstrahl, insbesondere Elektronenstrahlgenerator, zur Herstellung von Halbleiter-Bauelementen

71

Anmelder: Burroughs Corp., Detroit, Mich. (V.St.A.)

74

Vertreter: Eisenführ, G., Dipl.-Ing.; Speiser, D.K., Dipl.-Ing.; Zinggrebe, H., Dr.rer.nat.; Pat.-Anwälte, 2800 Bremen

72

Erfinder: Wolfe, John Edmond, Escondido, Calif. (V.St.A.)

DE 28 05 602 A 1

Patentansprüche

=====

1. Einrichtung zur Bestrahlung einer sensibilisierten Oberfläche mit einem variablen Elektronenstrahl, bestehend aus einer Ziel-Positionierungsvorrichtung (13), auf welcher die sensibilisierte Oberfläche gehalten ist; aus einer Elektronenstrahlquelle (41,42,47) zur Erzeugung eines Elektronenstrahles von hoher Stromstärke in Richtung auf die Zielpositionierungsvorrichtung; aus einer elektrostatischen Beschleunigungseinrichtung (54) zur Beschleunigung des Strahls in Richtung auf die Zielpositionierungsvorrichtung; sowie aus einer magnetischen Fokussiereinrichtung (43), die am Weg des Elektronenstrahls zwischen der Elektronenstrahlquelle und der Zielpositionierungsvorrichtung angeordnet ist und eine bildseitige Brennweite hat, die größer ist als die zugehörige objektseitige Brennweite und elektromagnetisch den Strahl auf die sensibilisierte Oberfläche fokussiert.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zielpositionierungsvorrichtung eine Maskierschablone trägt, die eine sensibilisierte Oberfläche hat.

3. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Zielpositionierungsvorrichtung ein kristallines Plättchen mit einer sensibilisierten Oberfläche gehalten ist.

809833/0947

ORIGINAL INSPECTED

4. Einrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektronenstrahlquelle an der sensibilisierten Oberfläche eine Elektronenstrahldichte von 1000 Ampere pro Quadratcentimeter abgibt.
5. Einrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektronenstrahlquelle eine mit Zirkon beschichtete Wolfram-Spitze (51) aufweist.
6. Einrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Wolfram-Spitze aus einem Wolfram-Einkristall besteht.
7. Einrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis des Quadrats der magneto-motorischen Kraft der elektromagnetischen Fokussiereinrichtung zum Potential der elektrostatischen Ablenkeinrichtung so groß ist, daß die bildseitige Brennweite etwa das Zehnfache der zugehörigen objektseitigen Brennweite ist.
8. Einrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Fokussiereinrichtung eine Ringschale (70) mit einem so großen Innendurchmesser aufweist, daß sich ein sehr kleiner Koeffizient der sphärischen Aberration ergibt.
9. Einrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis des Koeffizienten der sphärischen Aberration zur objektseitigen Brennweite kleiner ist als 0,4 und daß das Verhältnis der objektseitigen Brennweite zum Innendurchmesser der elektromagnetischen Fokussiereinrichtung kleiner ist als 0,35.

10. Einrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis des Quadrats der magneto-motorischen Kraft der elektromagnetischen Fokussiereinrichtung zum Potential der elektrostatischen Ablenkeinrichtung so groß ist, daß die bildseitige Brennweite eine Größenordnung größer als die zugehörige objektseitige Brennweite ist.

11. Einrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die elektromagnetische Fokussiereinrichtung eine Ringschale (70) mit einem Innendurchmesser besitzt, der so groß ist, daß der Koeffizient der sphärischen Aberration sehr klein ist.

12. Einrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis des Koeffizienten der sphärischen Aberration zur objektseitigen Brennweite kleiner ist als 0,4 und daß das Verhältnis der objektseitigen Brennweite zum Innendurchmesser der elektromagnetischen Fokussiereinrichtung kleiner ist als 0,35.

809833/0947

EISENFÜHR & SPEISER

BREMEN

4

2805602

PATENTANWÄLTE
DIPL.-ING. GÜNTHER EISENFÜHR
DIPL.-ING. DIETER K. SPEISER
DR. RER. NAT. HORST ZINNGREBE

UNS. ZEICHEN: B 460

ANMELDER/INH: BURROUGHS CORPORATION

AKTENZEICHEN: Neuanmeldung

DATUM: 6. Februar 1978

BURROUGHS CORPORATION, eine Gesellschaft nach den
Gesetzen des Staates Michigan, Burroughs Place,
Detroit, Michigan 48232, V. St. A.

Einrichtung zur Bestrahlung einer Zieloberfläche mit
einem variablen Elektronenstrahl, insbesondere Elektronen-
strahlgenerator, zur Herstellung von Halbleiter-Bauelementen

Die Erfindung beschäftigt sich mit einem Elektronen-
strahl-Generator, der insbesondere zur Herstellung
von Halbleiter-Bauelementen verwendet werden kann.

Integrierte Schaltungen werden aus unterschiedlichen
aktiven Elementen hergestellt, die in dem kristallinen
Substrat oder auf seiner Oberfläche erzeugt werden.
Für diese Erzeugung stehen eine Reihe von Verfahren
zur Bildung von Bereichen unterschiedlicher Leitfähig-
keit in dem Substrat oder auf dessen Oberfläche durch
Diffusion von Fremdatomen in diese Bereiche zur Bildung
der aktiven Elemente zur Verfügung. Zusätzlich zur Diffu-
sion sind die Ionenimpfung und das Aufwachsverfahren
übliche Methoden zur Schaffung solcher aktiver Elemente.

809833/0947

HZ/gs

Die Bildung eines derartigen IC-Chips sowie einer Anzahl derartiger Chips in einem kristallinen Plättchen erfordert eine Anzahl von Verfahrensschritten, wie etwa das Maskieren der kristallinen Oberfläche und Freilegen nur solcher Bereiche, in welche die Fremdatome hineindiffundieren oder geimpft werden sollen, oder in der das Aufwachsen stattfinden soll, wobei solche Bereiche mit einem Isoliermaterial oder Oxidmaterial beschichtet werden. Bei jedem derartigen Verfahrensschritt wird das zu bildende Muster durch Bedecken der Oberfläche mit kristallinen Plättchen mit lichtbeständigem Material und Aussetzen jener Oberflächenbereiche der Einwirkung von Strahlung durch eine Maske gebildet, die das zu schaffende Muster aufweist. Derartige Masken werden ihrerseits durch Aufzeichnen vergrößerter Muster und fotografischer Verkleinerung ihres Bildes auf die Größe der in dem IC-Chip zu bildenden Elemente hergestellt.

Die aktiven Elemente, die in einem IC-Chip mit dem oben erwähnten Verfahren gewonnen werden können, sind nicht kleiner als zwei Mikron in Abmessung und man glaubt, daß die Auflösung, die durch derartige optische Lithographie-Verfahren erreicht werden kann, ihre Grenze erreicht hat. Daher wurden elektronenstrahl-lithographische Verfahren eingesetzt, um eine höhere Auflösung zu erzielen. Diese waren jedoch nicht besonders erfolgreich, weil die Zeitspanne für die Herstellung der Muster aufgrund der niedrigen Intensität des Elektronenstrahls relativ groß war und lange Exponierungszeiten für das verwendete elektronenstrahl-feste Material bedeuteten.

Ein zusätzlicher Nachteil von Elektronenstrahl-Generatoren besteht darin, daß die Fokussierungslinse relativ nahe am Ziel angeordnet ist, wodurch ein schnelleres Abtasten des Ziels mit einem relativ kleinen Abtastfeld erkauft wird. Daher muß der Abtastzyklus viele Male wiederholt

werden, um die gesamte Zielfläche zu bedecken.

Mit einer ausreichend verbesserten Elektronenstrahl-Säule mit hoher Strahlstromauflösung und großer Bildweite kann der gesamte Chip-Zielbereich abgetastet und das aufzubringende Muster viel schneller erzeugt werden als mit einfachen Elektronenstrahl-Generatoren. Weiter kann ein derartiger Elektronenstrahl-Generator nicht nur zur Bildung von Masken mit hoher Auflösung bei der Herstellung von integrierten Schaltungen eingesetzt werden, die jeweiligen Maskierstufen können darüber hinaus eliminiert und das Muster kann direkt auf der Oberfläche des IC-Plättchens erzeugt werden.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen verbesserten Elektronenstrahl-Generator zu schaffen, der insbesondere bei der Halbleiter-Bauteil-Herstellung verwendet werden kann und hohe Stromdichten zu liefern gestattet. Weiter soll der Fokussiermechanismus des zu schaffenden Elektronenstrahl-Generators so ausgelegt sein, daß eine große Bildweite sich ergibt, um auf diese Weise das Abtasten größerer Zielbereiche zu erreichen.

Erfindungsgemäß wird dazu ein Elektronenstrahl-Erzeugungs- und Fokussiermechanismus geschaffen, welcher einen sehr hohen Elektronenstrahlstrom und eine weite Ablenkung des Strahls ermöglicht. Dazu benutzt der Elektronenstrahl-Generator eine Feld-Emissionsquelle für thermische Ionen mit einer aus Wolfram mit Sauerstoffeinschlüssen bestehenden Kathode, deren Spitze mit Zirkon beschichtet ist. Eine derartige Kathode kann einen Elektronenstrahlstrom von 1000 Ampere pro Quadratcentimeter erzeugen. Eine elektromagnetische Fokussiereinrichtung mit nur sehr geringen

Aberrations-Koeffizienten unterstützt^t weiter den hohen Elektronenstrom und ist so gebaut, daß sich eine sehr große bildseitige Brennweite relativ zur objektseitigen Brennweite ergibt. Wegen der sehr großen Bildweite ermöglicht eine kleine Winkelablenkung des Strahls in der Nähe der Fokussiereinrichtung eine große Ablenkung des Strahls am Ziel.

Der erfindungsgemäße Elektronenstrahl-Erzeuger- und Fokussier-Mechanismus zeichnet sich daher durch eine Feld-Emissionsquelle für thermische Ionen mit hoher Stromstärke aus und ergibt damit einen Elektronenstrom hoher Stromstärke, wobei ferner erfindungsgemäß eine elektromagnetische Fokussiereinrichtung längs der Achse des Elektronenstrahls zwischen der Quelle und dem Ziel so angeordnet ist, daß sich eine große Bildweite ergibt, wobei die Elektronenstrahlquelle aus einer mit Zirkon beschichteten Wolfram-Kathode besteht.

Die vorstehenden Eigenschaften, Merkmale und Vorteile der Erfindung gehen aus der nachfolgenden Beschreibung einer in den beigefügten Zeichnungen dargestellten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung hervor. Im einzelnen zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung der mit den Merkmalen der Erfindung ausgestatteten Einrichtung;
- Fig. 2 einen Vertikalschnitt durch die erfindungsgemäße Einrichtung;
- Fig. 3 einen Vertikalschnitt durch die Elektronenstrahlquelle gemäß der Erfindung in vergrößerter Darstellung;
- Fig. 4 eine schematische Darstellung der im Rahmen der Erfindung verwendeten Schaltung;
und
- Fig. 5 einen schematischen Querschnitt durch die Fokussiereinrichtung gemäß der Erfindung.

Wie oben dargestellt, soll die erfindungsgemäße Einrichtung nicht nur Masken hoher Auflösung für die Verwendung bei der Herstellung integrierter Schaltungen, sondern auch zum direkten Einsatz bei derartiger Herstellung dienen. Eine solche Einrichtung zeigt Fig. 1 mit den zugehörigen Steuerungen. Wie man aus dieser Figur erkennt, umfaßt die Lithographie-Einrichtung 10 eine Elektronenkanone 11 zur Bildung eines Elektronen-Strahles, der durch das Linsensystem 12 auf eine Maskierschablone 19 fokussiert wird. Die Maskierschablone 19 wird von einem X/Y-Tisch 13 getragen, der mit einem außerhalb der Einrichtung angeordneten Motortrieb 14 gekoppelt ist. Die durch die Elektronenkanone 11 und das Linsensystem 12 gebildete Elektronenstrahlkanone weist ferner Ablenkeinrichtungen 18 sowie eine Steuer- und Stromversorgungseinheit 17 auf. In der Lithographie-Kammer 10 wird Vakuum durch ein Pumpenaggregat 15 aufrechterhalten.

Die Steuerung für die Lithographieeinrichtung 10 besorgt ein zentraler Prozessor 30, der entsprechend programmiert ist. Der Prozessor 30 ist seinerseits mit verschiedenen Ein/Ausgabegeräten und einer Schnittstelle ausgerüstet, worauf hier nur kurz eingegangen wird. Um die Schablönerzeugung durch die Elektronenkanone zu steuern, treibt der Prozessor 30 eine Strahlschnittstelle 26, die eine Ausbleicheinheit 20 zur Steuerung der Veränderung der Elektronenstrahl-Intensität aktiviert. Die Strahlschnittstelle 26 aktiviert ferner die Ablenkeinrichtung 21 einerseits direkt sowie andererseits durch die Abmess- und Rotationseinheit 23, um den Stromfluß durch die Ablenspulen 18 so zu verändern, daß der Elektronenstrahl auf die erforderliche Position im Zielfeld abgelenkt wird, welches bei der in Fig. 1 dargestellten Einrichtung die Maskierschablone ist. Das Ausmaß der von der Ablenkeinrichtung 21 zu liefernden Strahlablenkung hängt von der

Ausrichtung der Maskierschablone 19 ab, die durch eine Aufnehmereinheit 24 festgestellt wird, die ihrerseits der Strahlschnittstelle 26 über eine Ausrichteinheit 22 Signale zuleitet.

Das Positionieren der Maskierschablone 19 wird durch entsprechendes Positionieren des X-Y-Tisches 13 erreicht. Die Stellung des X-Y-Tisches 13 wird durch ein Laser-Interferometer 25 festgestellt, das seinerseits dem Prozessor 30 Signale zuleitet. In Abhängigkeit von diesem positioniert die Tischsteuerung 29 den XY-Tisch 13.

Die übrigen Baugruppen und -Teile der in Fig. 1 dargestellten Steuereinrichtung sind dem Prozessor 30 zugeordnet. Diese umfassen eine Überwachungssteuerung 27 und eine Art Leitwerk 28. Ferner sind dem Prozessor 30 mehrere Peripheriegeräte wie etwa ein Fernschreiber 36 zugeordnet, die von dem Operator zur Informationseingabe für den Prozessor 30 verwendet werden kann, ferner eine graphische Anzeigeeinrichtung 35, eine über eine Bandformat-Einheit 33 mit dem Prozessor 30 gekoppelte Bandtransporteinheit 34, eine Platteneinheit 32 sowie eine Anzeigeeinrichtung 31 für das Abtasten des Elektronen-Mikroskop.

Fig. 2 erläutert einen weiteren Bestandteil der erfindungsgemäßen Elektronenstrahl-Säule. Diese Säule wird von einer Feld-Emissionsquelle für thermische Ione gebildet und weist eine Punktkathode 41 und eine Anode 42 auf, die den Elektronenstrahl 40 durch ein von magnetischen Linsen 43 geschaffenes Magnetfeld beschleunigt und den Strahl auf ein Ziel 19 fokussiert. Wie oben dargestellt worden ist, kann das Ziel 19 entweder ein empfindlicher Maskierfilm oder eine sensibilisierte Oberfläche

auf einem IC-Plättchen sein. Die Ablenkplatten oder Spulen 18 (Spulen werden bevorzugt) sind, wie im Zusammenhang mit Fig. 1 erläutert, so angeordnet, daß sie den fokussierten Strahl auf verschiedene Stellen auf dem Ziel 19 ablenken.

Die Elektronenstrahl-Säule gemäß Fig. 2 kennzeichnet sich durch eine Kathode 41, die einen hohen Elektronenstrahlstrom liefert, sowie eine magnetische Linse 43, die imstande ist, eine große Bildweite b relativ zur Gegenstandsweite a zu schaffen. Erfindungsgemäß ist die Bildweite b vorzugsweise 10 mal so groß wie die Gegenstandsweite a .

Die thermionische Feld-Emissionsquelle, die im Rahmen der Erfindung verwendet wird, wird jetzt im Zusammenhang mit Fig. 3 beschrieben. Diese Quelle weist eine Kathodennadel 41 auf, die aus einem Wolfram-Einkristall mit axialer (100) Orientierung gebildet wird. Die Kathodennadel 41 erstreckt sich durch die Gitterelektrode 47 nach vorne, welche die die Kathodennadel 41 tragende Haarnadel-Oese 44 schützt. Die Spitze der Kathodennadel 41 ist in einer Weise mit Zirkon beschichtet, die im einzelnen in der US-Patentschrift 3 814 975 beschrieben ist. Andere Verfahren zum Auftragen von Zirkon sind beispielsweise in der US-Patentschrift 3 374 386 beschrieben. Die Anode 42 besitzt einen Abstand von etwa 30 mils (=30000stel Zoll) von der Gitterelektrode 47 und besitzt eine Öffnung 46 zum Durchtritt des beschleunigten Elektronenstrahls. Die zwischen Kathodennadel 41 und Anode 42 aufrecht erhaltene Spannung schafft ein elektrisches Feld von ungefähr 10^7 V pro Zentimeter. Im Betrieb wird die die Kathodennadel tragende Schleife 44 auf eine Temperatur von ungefähr 1800° Kelvin aufgeheizt.

Fig. 4 erläutert die elektrischen Funktionskomponenten und die zugehörige Schaltung für den Betrieb der Elektronenstrahl-Säule gemäß der Erfindung. Wie dargestellt, ist die Elektronenkanone mit Kathode 41 und Gitter 47 mit einer Kathoden- und Gitter-Spannungsquelle 49 zum Heizen des Kathodenfadens und Bereitstellen der Gitterspannung gekoppelt. Die Spannungsquelle 49 ist mit einer Hochspannungsquelle 48 gekoppelt, die einen Stromdurchgrenzer zur Verhütung der Ausbildung eines unerwünschten Lichtbogens in der Elektronenkanone enthält. Die Kathoden-Stromversorgung enthält ferner eine Servo-Schleife für den Elektronenstrahlstrom. Die Hochspannungsquelle 48 liefert eine sehr gut geregelte (50 Millionstel pro Stunde) Spannung von -10kV relativ zur Masse an die Kathodenspannungsquelle, die ihrerseits dies Potential der Kanonenkathode zuführt. Wie Fig. 4 zeigt, ist die Anode 42 mit Massepotential gekoppelt.

Die Fokussierspule 43 besitzt Linsenwirkung und ist relativ nahe an der Kathode 41 positioniert, um die extrem kleine virtuelle Elektronenquelle mit beträchtlicher Vergrößerung auf eine Elektronen resistent beschichtete, auf dem X-Y-Tisch 13 befestigte Probe abzubilden. Eine statische Abbildungsspannungsquelle mit sehr gut geregeltem Strom (10 Millionstel pro Stunde), die eine manuelle Strom-Steuerungsmöglichkeit enthält, liefert die statische Abbildung. Die dynamische Abbildung wird von einer dynamischen Abbildungsstromquelle 63 geliefert, die in dem Fall eingesetzt wird, in dem mehr als ± 3 mm Ablenkung des Elektronenstrahls benötigt wird. Die dynamische Ablenkungsstromquelle 63 und ihr zugehöriger Funktionsgenerator 64 treiben eine separate Spule in der magnetischen Linse 43.

Das Ausblenden des Elektronenstrahles wird durch die Ausblendplatten 50 ermöglicht, die den Elektronenstrahl aus der Öffnung 53a in einen Faraday-Becher 53b ablenken. Abgesehen von diesem Ablenken des Elektronenstrahls ergibt sich damit ein bequemes Verfahren zur Überwachung des Strahlstromes, indem nämlich die Stärke des in den Faraday-Becher 53b eingeleiteten Stromes gemessen wird. Eine Strommessschaltung 52 ist zu diesem Zweck vorgesehen. Die Größe des Strahlstromes kann auch zur Bildung eines Rückkopplungssignals für die Stromversorgung 49 für den Kathodenfaden benutzt werden, so daß der gewünschte Wert des Strahlstromes automatisch eingestellt und aufrecht erhalten werden kann. Eine Ablenkeinheit 51 gibt ein Signal mit einer Anstiegs- und Abfallzeit von einer Nano-Sekunde für die Ablenkplatten 50.

Wie in Fig. 4 angedeutet ist, ist die Elektronenstrahlsäule mit Stigmator-Spulen 54 sowie einer Stigmator-Treibereinrichtung 55 ausgerüstet, welche sowohl ein statisches Signal wie auch ein dynamisches Signal unter Steuerung des Funktionsgenerators 56 liefert. Die dynamische Stigmation wird normalerweise nur für Elektronenstrahl-Ablenkungen benötigt, die größer als $\pm 3\text{mm}$ sind.

Die Ablenkspulen 18 liefern eine X- und eine Y-Ablenkung und werden durch Ablenkungstreiber 57 unter Steuerung des Funktionsgenerators 58 getrieben. Die Ablenkstreiber 57 nehmen eine nicht dargestellte Stromrückkopplung auf, um extreme Linearität zu erhalten. Die inhärente Sinus-Tangens-Nicht-Linearität wird durch den Funktionsgenerator 58 korrigiert. Der Halbleiter-Detektor 60 stellt die vom Ziel reflektierten Primärelektronen fest und der Elektronen-Vervielfacher 61 ermittelt die Sekundärelektronen. Der Magnetfeld-Detektor 59 liefert ein Korrektur-Eingangssignal

an die X- und Y-Ablenkschaltungen zur Korrektur der restlichen magnetischen Wechselfeldschwankung in der Nachbarschaft der Säule.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung beträgt die Kathodenspannung 10kV und der Strahlstrom beträgt 1 Mikro-Ampere für ein Zielbild von 0,25 Mikrometer Durchmesser, oder 1,6 Mikro-Ampere für ein Ziel von 0,5 Mikrometer Durchmesser. Die Ablenkfrequenz der Ablenkplatten beträgt 12 500 Abtastungen pro Sekunde bei einer Abtastlänge von \pm 3mm. Die Frequenz, mit der der Elektronenstrahl zur Erzeugung eines Musters ausgeblendet wird, beträgt 150 MHz.

Die oben beschriebene Kathodennadel besitzt eine vorausgesagte Lebensdauer von etwa 1000 Stunden für die benutzten Stromdichten. Der Kathodenradius an seiner Spitze beträgt etwa 0,6 Mikrometer und bildet damit eine virtuelle Strahlquelle, die durch die Vergrößerung der magnetischen Linsen auf ein Ziel so abgebildet wird, daß sich 24 000 Punkte auf dem Ziel mit etwa 1° Winkelablenkung ergeben. Derartig geringe Winkelablenkungen sind sehr hilfreich in Bezug auf die Ablenk-Nichtlinearitäten und andere Bildfehler.

Die oben beschriebene magnetische Linse wird mit kurzer Brennweite relativ zum Linsendurchmesser betrieben, wobei die Brennweite der Einrichtung fast gleich der Gegenstandsweite ist. Mit großem Innendurchmesser kann die Gegenstandsweite a von 0,5 Zoll bis 1 Zoll betragen, und die Bildweite b reicht dann von 4 bis 16 Zoll.

Wie oben festgestellt wurde, ist das bevorzugte Verhältnis von b zu a gleich 10. Wenn eine derartige magnetische Linse mit kurzer Gegenstandsweite relativ zum Linsendurchmesser verwendet wird, werden sehr kleine Koeffizienten der sphärischen Aberration und chromatischen Aberration erhalten, was ermöglicht, Elektronen relativ niedriger Energie zu verwenden und dennoch einen hohen Strahlstrom zu ermöglichen. Der hohe Strahlstrom ergibt sich sowohl aus der hohen Leuchtkraft der Kathode wie auch dem großen Apertur-Winkel, der von der magnetischen Linse ohne starke sphärische Aberration verkraftet werden kann.

Fig. 5 zeigt eine praktische Ausführungsform des magnetischen Fokussiermechanismus gemäß der Erfindung. Dieser Mechanismus weist eine Weicheisen-Ringschale 70 auf, die elektrisch leitfähige Windungen 71 beherbergt. Das der Elektronenstrahl tatsächlich fokussierende Magnetfeld wird über den Spalt 72 in der Schale 70 aufgebaut. Um eine große Bildweite mit niedriger Aberration für eine gegebene Gegenstandsweite zu schaffen, muß die Linse einen großen Innendurchmesser haben. Außerdem muß der magnetische Spalt nicht zu klein sein, oder es werden außerordentlich viele Ampere-Windungen benötigt, um ein Magnetfeld mit geeigneter Stärke zu schaffen. In Fig. 5 hat der Innendurchmesser der Schale 70 einen Wert von 4 Zoll und der Spalt 72 hat eine Breite von 0,5 Zoll.

Die Hauptebene der äquivalenten durch das Magnetfeld geschaffenen dünnen Linse liegt etwa 1,4 Zoll in Richtung auf das Ziel aus der Mitte des Magnetspaltes des Fokussiermechanismus'. Um dies zu erreichen, ist die Elektronenquelle 41 (Fig. 2 und 3) in der Nähe des Brennpunktes positioniert, wobei die Kathodenspitze ungefähr 0,4 Zoll auf das Ziel aus der Mittellinie des Spaltes gerückt ist. Der virtuelle Gegenstand ist etwa an der Spitze der Elektronenquelle und einen Zoll hinter der Hauptebene bezüglich

des Ziels, so daß sich eine Gegenstandsweite von 1 Zoll ergibt. Die Fokussiereinrichtung gemäß Fig. 2 und 5 ist für eine Gegenstandsweite von 1 Zoll und eine Vergrößerung von etwa 10fach ausgelegt. Dies erfordert, daß der Anregungsparameter $K=1000$ ist, wobei $K = \frac{(NI)^2}{V}$ beträgt; NI ist die elektromotorische Kraft in Ampere-Windungen und V bedeutet das Beschleunigungspotential des Elektronenstrahls, das etwa 10kV beträgt. K muß vergrößert werden, wenn der Linsendurchmesser vergrößert wird, um hinreichende magnetische Feldstärke am Ort des Elektronenstrahls zu haben.

Unter den vorstehend genannten Umständen beträgt der Koeffizient C_s für die sphärische Aberration 0,32 Zoll und der Koeffizient C_c für die chromatische Aberration beträgt 0,62 Zoll. Für die Berechnung der sphärischen und chromatischen Aberration wird auf den Aufsatz von J.R.A. Cleaver, "Field Emission Guns for Electron Probe Instruments", veröffentlicht in "International Journal of Electronics, 1975, Band 38, Nr. 4, Seiten 513-529 sowie auf die Arbeit von El-Kareh und El-Kareh, "Electron Beam, Lens and Optics", Band 2, Verlegt in Academic Press, 1970, Seiten 58 und 270 bis 290 Bezug genommen.

Bei der in der vorliegenden Erfindung beschriebenen Ausführungsform beträgt der Sammel-Halbwinkel α des Elektronenstrahls 0,015 rad am Emitter der Elektronenkanone, bestimmt durch eine Apertur wie in Fig. 4 gezeigt. Dieser Winkel ist als der Winkel zwischen der Strahlachse und dem Außenstrahl des Bündels wie in Fig. 4 angegeben, definiert. Mit den vorstehenden Werten ergibt sich der Durchmesser d_s der sphärischen Aberrations-Fläche und der Durchmesser d_c der chromatischen Aberrations-Fläche aus folgenden Gleichungen:

$$d_s = \frac{C_s d^3}{2}$$

$$d_c = \frac{C_c \Delta V d}{V}$$

(vgl. Cleaver a.a.O.) und die daraus sich ergebenden Werte sind $d_s = 137 \text{ \AA}$ und $d_c = 118 \text{ \AA}$. Die virtuelle Überschneidung für diese Elektronenkanone beträgt etwa 100 \AA . Das Aufsummieren dieser Durchmesserquadrate ergibt

$$d = \sqrt{(118)^2 + (137)^2 + (100)^2}$$

$$= 206 \text{ \AA}$$

wobei d die virtuelle Quellengröße ist. Bei einer Vergrößerung von 10 wird die Bildgröße $0,206$ Mikrometer. Dieser Wert kann auf größere Größen durch Erhöhen des Sammel-Halbwinkels α eingestellt werden, so daß d_s und d_c und somit d entsprechend geändert werden.

Mit dem vorstehend beschriebenen Fokussiermechanismus soll der Innendurchmesser der Fokussiereinrichtung so groß wie möglich werden, ohne daß er so groß wird, daß er das Magnetfeld schwächt, das durch die Anzahl der Ampere-Windungen gegeben ist und in der erwähnten Magnetspule benutzt wird. Das Verhältnis des Koeffizienten der sphärischen Aberration zur gegenstandsseitigen Brennweite C_s/f_o sollte kleiner als $0,4$ sein. Das Verhältnis der gegenstandsseitigen Brennweite zum ganzen Durchmesser sollte kleiner als $0,35$ sein, und beträgt bei der gegenwärtigen Ausführungsform der Erfindung $0,25$. Mit dem soweit beschriebenen Fokussiermechanismus wird eine Vergrößerung von wenigstens 10 erhalten und gibt submikroskopische Punktgrößen auf dem Ziel wie oben angegeben.

Wegen der hohen Stromdichte des von der erfindungsge-
mäßigen Elektronen-Strahlsäule erzeugten Elektronenstromes
wird nicht der gesamte zur Verfügung stehende Strom zur
Mikro-Herstellung der integrierten Schaltung benötigt.
Wegen der überschüssigen, verfügbaren Stromstärke kann
der Apertur-Winkel auf der Kanonenseite der Linse reduziert
werden, um eine Reduzierung der auf das Ziel fallenden
Stromstärke zu erreichen. Dies ermöglicht seinerseits
eine Reduzierung der Aperturen und Abbildungsfehler
der Linsen und des Ablenkungssystems.

Die das Ziel haltende mechanische Vorrichtung (X-Y-Tisch
13 in Fig. 1,2,4) kann entweder dazu verwendet werden,
von einem elektronisch abgetasteten Feld zu einem nächsten
weiterzugehen, oder kann kontinuierlich für eine mechanische
Abtastung in einer Richtung benutzt werden, wobei der
Elektronenstrahl in einer zur mechanischen Abtastung
senkrechten Richtung abtasten kann. Die Messung der Po-
sition des mechanischen Tisches mittels des Laser Inter-
ferometers dient zur Korrektur von Fehlern in der mecha-
nischen Positionierung durch Verwendung eines Fehler-
signals, mit dem die Elektronenstrahl-Position in Richtung
auf die Fehlerbeseitigung gesteuert wird.

In dem das Elektronenstrahl resistente Material, das ent-
weder die Maske oder das Schaltungsplättchen selbst be-
deckt, einer gegenüber anderen Einrichtungen sehr schnellen
und kurzen Exponierung ausgesetzt wird, kann die gesamte
Maske oder Schablone oder das Plättchen exponiert werden,
ehe Langzeit-Driftfehler zu beanstandende Werte erreichen.
Bei der Verwendung von Schablonen braucht nur eine Vorbe-
lichtungs-Ausrichtung ausgeführt zu werden und es sind
keine Unterbrechungen der Exponierung für erneute Aus-
richtung nötig, wie das wegen des Drifts bei anderen
Maschinen erforderlich ist. Die Herstellung von IC-Plättchen

durch direkte Exponierung ohne die Verwendung von Maskierschablonen ist bei der Erfindung praktischer, und zwar wegen der höheren Exponierungs- oder Belichtungsgeschwindigkeit.

Insgesamt wurde eine Elektronenstrahl-Fokussiereinrichtung beschrieben, die einen Elektronenstrahl mit sehr hoher Stromstärke und sehr weiter Ablenkung des Strahls liefert. Daher wird ein schnelleres Abtasten des Zieles gegenüber anderen Einrichtungen erreicht. Die Elektronenstrahlquelle enthält eine Kathode, die ein Elektronenstrahlstrom von 1000 A pro Quadratcentimeter erzeugen kann, das seinerseits die Verwendung einer elektromagnetischen Fokussiereinrichtung erlaubt, die nur sehr geringe Werte der Aberrations-Koeffizienten bzw. Bildfehler-Koeffizienten besitzt und eine sehr große Bildweite aufweist. Natürlich ist die Erfindung auf Einzelheiten der beschriebenen Ausführungsform nicht beschränkt, dem Fachmann sind manche Änderungen geläufig, ohne daß durch diese vom Erfindungsgedanken abgewichen wird. Beschrieben wurde ein Elektronenstrahlgenerator und eine Fokussiereinrichtung mit einer thermionischen Feldemissionsquelle von hoher Stromstärke, die die Erzeugung eines Elektronenstrahls von hoher Stromstärke gestattet. Ferner ist die elektromagnetische Fokussiereinrichtung längs der Achse des Elektronenstrahls zwischen der Quelle und dem Ziel so angeordnet, daß sic eine große Bildweite ergibt, wobei die Elektronenstrahlquelle aus einer mit Zirkon beschichteten Wolfram-Kathode besteht.

19
Leerseite

FIG. 2.

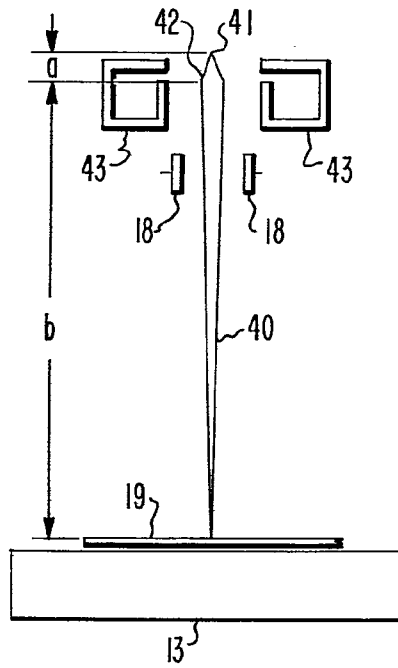


FIG. 3.

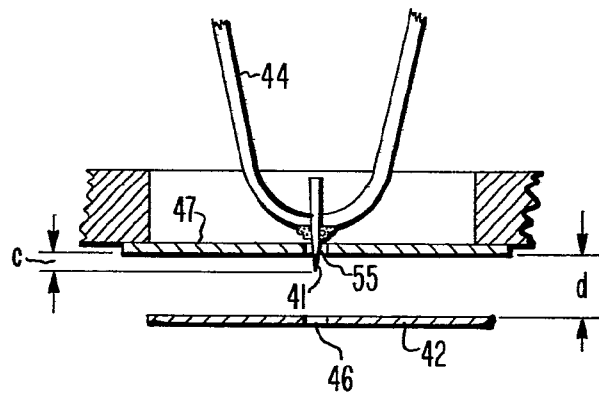


FIG. 5.

