



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 100 32 979 A 1**

51 Int. Cl.⁷:
G 03 F 1/00
H 01 J 37/285
G 01 M 11/00

21 Aktenzeichen: 100 32 979.9
22 Anmeldetag: 6. 7. 2000
43 Offenlegungstag: 17. 1. 2002

DE 100 32 979 A 1

71 Anmelder:
Schönhense, Gerd, Prof. Dr., 55130 Mainz, DE;
Kleineberg, Ulf, Dr., 33824 Werther, DE

72 Erfinder:
gleich Anmelder

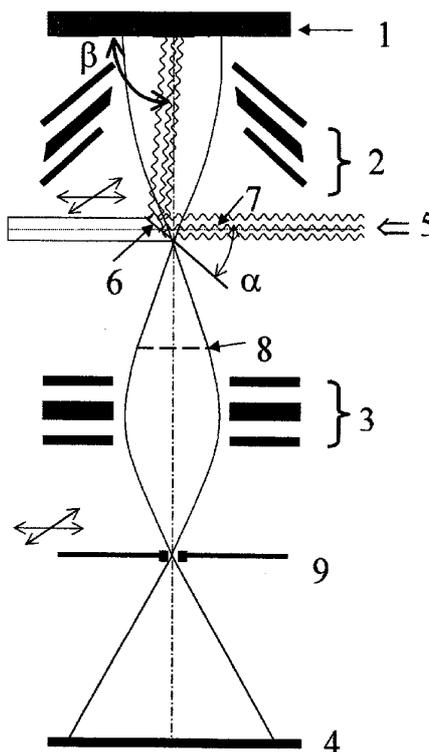
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

US 60 68 955
US 58 08 312
EP 09 22 996 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Inspektionsgerät für EUV-Lithographiemasken und Multilagen-Spiegel

57 Es wird ein Inspektionsgerät beschrieben, mit dem Lithographiemasken und Multilagenspiegel für den externen UV-Bereich (EUV) auf Defekte untersucht werden können. Die einfallende EUV-Strahlung (5) wird durch einen Umlenkspiegel (6) so auf das zu untersuchende Objekt (1) gelenkt, daß sie dort unter dem korrekten Einfallswinkel der Lithographieanwendung von β 84°-86° auftrifft, aber die elektronenoptische Abbildung der Objekt-oberfläche nicht stört, indem der Spiegel (6) in der hinteren Brennebene (7) der Objektivlinse (2) angeordnet ist. Der Umlenkspiegel (6) ist justierbar und kann aus einer Multilagen-Schicht (10) oder einem ein- oder polykristallinen Material (11) bestehen.



DE 100 32 979 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Charakterisierung von Lithographiemasken und Multilag-Spiegeln unter Verwendung von Licht im extremen Ultraviolett (EUV) mit den im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 aufgeführten Merkmalen.

[0002] Die weitere Miniaturisierung der Bauelemente der Mikroelektronik bedingt eine entsprechende Reduktion der Strukturdimensionen. Die kleinstmöglichen Strukturen einer Chip-Generation werden durch das zum Einsatz kommende Lithographieverfahren diktiert. Eines der vielversprechendsten Verfahren, die es prinzipiell erlauben, in extrem kleine Strukturgrößen vorzustossen, ist die EUV-Projektionslithographie. Diese Methode wird weltweit mit grossem Finanzaufwand entwickelt und erprobt, um die derzeit gebräuchliche UV-Lithographie zu ersetzen, da diese an ihre physikalischen Grenzen stösst. Bei der EUV-Lithographie wird zur Übertragung der Struktur von der Maske auf das Bauelement (Wafer) Licht im Wellenlängenbereich um $\lambda = 13$ nm verwendet, da für diese Wellenlängen hocheffiziente Reflexionsoptiken in Form von Multilag-Spiegeln auf speziell geformten Substraten hergestellt werden können (E. Spiller, Appl. Phys. Lett. 20 (1972) 365–367). Auch die Maske als Träger der herzustellenden Struktur basiert auf einem ebenen Multilag-Spiegel mit einer strukturierten Absorberschicht. Die Struktur dieser Reflexionsmaske wird durch die Projektionsoptik um einen Faktor 4–8 verkleinert auf den Wafer abgebildet.

[0003] Ein schwerwiegendes Problem dieses Verfahrens liegt in der Existenz von Defekten oder Inhomogenitäten in der Multilagenschicht. Insbesondere im Fall der Reflexionsmasken verursachen solche Stellen Einbrüche in der Reflektivität, d. h. dunkle Flecken im projizierten Bild. In der Folge entstehen Fehler in der übertragenen Struktur. Standardverfahren zur Defektsuche sind die Rasterelektronenmikroskopie und die Rastertunnel- oder Kraftmikroskopie. Diese Methoden geben zwar die Struktur, aber nicht die optischen Eigenschaften im extremen Ultraviolett wieder. Manche Defekte sind jedoch strukturell an der Oberfläche nicht oder kaum sichtbar. Ausserdem sind die Rasterverfahren vergleichsweise langsam und daher zur grossflächigen Defektsuche nicht gut geeignet. Gleiches gilt für die rasternde Reflektometrie, bei der ein fein fokussierter EUV-Strahl mit Durchmesser in der Größenordnung von 100 nm zeilenweise das Objekt abtastet.

[0004] Die vorliegende Erfindung löst durch das kennzeichnende Merkmal des Patentanspruchs 1 die Aufgabe, die Lithographiemasken und Spiegel mit Licht der entsprechenden EUV-Wellenlänge bei nahezu senkrechter Lichteinfallrichtung mittels einer parallel-erfassenden Abbildungsmethode zu untersuchen. Die dadurch mögliche Charakterisierung und Vermessung der Masken und Spiegeloberflächen unter Realbedingungen, d. h. bei Verwendung von Strahlung der korrekten Wellenlänge um 13 nm unter dem korrekten Einfallswinkel des späteren Betriebes (typisch 4° – 6° in Bezug auf die Oberflächennormale) ist für das optische Verhalten eines Bauelements aussagekräftiger als eine rein strukturelle Charakterisierung. Ähnlich einem Lichtmikroskop kann ein Gesichtsfeld von bis zu ca. 1 mm Durchmesser simultan erfaßt und auf Mikrodefekte analysiert werden. Das Wellenfeld in der Oberfläche der Maske oder des Spiegels kann mit dem erfindungsgemässen Gerät mit hoher lateraler Ortsauflösung über die Intensität der ausgesendeten Photoelektronen direkt in paralleler Bilderfassung abgebildet werden. Das Abbildungsverfahren wird Photoemissions-Elektronenmikroskopie genannt (E. Brüche, Zeitschr. Phys. 86 (1933) 448) und wird in anderen For-

schungsbereichen zur Charakterisierung von Oberflächen und magnetischen Strukturen eingesetzt.

[0005] Es ist eine zentrale Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Anordnung zu schaffen, mit der auf einfache Weise der EUV-Lichtstrahl auf die Maske bzw. den Spiegel gelenkt werden kann, ohne die elektronenoptische Abbildung der Masken- bzw. Spiegeloberfläche zu beeinträchtigen. Ferner soll der Einfallswinkel um einige Grad in der Nähe des senkrechten Einfalls variiert werden. Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, dass ein optischer Umlenkspiegel für den EUV-Strahl vorzugsweise in der hinteren Brennebene der Objektivlinse oder in einer ihrer konjugierten Ebenen angeordnet und derart ausgerichtet ist, dass der von der Lichtquelle kommende Primärstrahl nahezu senkrecht auf das zu untersuchende Objekt umgelenkt wird. Obwohl der Umlenkspiegel in den Strahlengang des elektronenoptischen Abbildungssystems teilweise hineinragt, werden dessen Abbildungseigenschaften nicht negativ beeinflusst. Die Abschattung eines Teils des Beugungsbildes in der hinteren Objektivbrennebene oder einer dazu konjugierten Ebene verursacht lediglich eine Intensitätsabnahme in der Helligkeit des Bildes. Von ihrer geometrischen Anordnung ähnelt die Erfindung dem Reflexionselektronenmikroskop (DE 195 43 652). Bei der vorliegenden Erfindung handelt es sich jedoch um die Einspiegelung von Licht im extremen Ultraviolettbereich und um den Einsatz zur Masken- und Spiegelcharakterisierung bei der korrekten Lichtwellenlänge. Beides ist mit dem Reflexionselektronenmikroskop, bei dem ein Elektronenstrahl "eingespiegelt" wird, prinzipiell nicht möglich.

[0006] Gemäss einer besonders vorteilhaften Ausbildung des erfindungsgemässen Gerätes wird der Umlenkspiegel unter einem Winkel von annähernd $\alpha = 45^\circ$ zur optischen Achse der abbildenden elektronenoptischen Säule angeordnet. Damit bildet der einfallende Primärlichtstrahl und die elektronenoptische Achse einen Winkel von 90° aus. Je nach Wahl des Reflektormaterials auf der Spiegeloberfläche kann es aber auch vorteilhaft sein, die Fläche unter anderen Winkeln α anzuordnen.

[0007] Die Oberfläche des Umlenkspiegels kann mit einer breitbandig reflektierenden Schicht derart versehen werden, dass der für die Maskencharakterisierung interessante Wellenlängenbereich durchgeföhren werden kann. Wesentlich für das erfindungsgemässe Gerät ist die Kombination von optischer Beleuchtung der Maske mit der korrekten Wellenlänge unter dem korrekten Einfallswinkel der extremen Ultraviolettstrahlung mit einer hochauflösenden elektronenoptischen Parallelabbildung der Oberfläche.

[0008] Im folgenden werden beispielhafte Ausführungsformen der Erfindung anhand der Zeichnungen näher erläutert, dabei werden weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung zur Sprache kommen. Es zeigen

[0009] Fig. 1 eine schematische Darstellung des Gesamtaufbaus des Inspektionsgerätes,

[0010] Fig. 2a, b den Umlenkspiegel in vergrößerter Darstellung für senkrechten ($\beta = 90^\circ$) und gekippten Einfall ($\beta < 90^\circ$),

[0011] Fig. 3a, b, c den Umlenkspiegel gemäss zweier Ausführungsformen in Seitenansicht und Aufsicht,

[0012] Fig. 4 einen Querschnitt durch eine EUV-Reflexionsmaske,

[0013] Fig. 5 das berechnete Wellenfeld im Oberflächenbereich einer EUV-Reflexionsmaske.

[0014] Die Aufgabe der hochauflösenden Parallelabbildung der Oberfläche mittels der durch das Wellenfeld ausgelösten Photoelektronen unter realen Arbeitsbedingungen (in Bezug auf die verwendete Strahlung, ihre Wellenlänge und ihren Einfallswinkel) wird erfindungsgemäss durch eine

reits bei $z = 3$ nm enden, so würde umgekehrt die defektfreie Oberfläche heller als Defektbereiche erscheinen. In beiden Fällen ergibt sich ein Kontrast in der Elektronenemission zwischen der ungestörten Multilagenoberfläche und möglichen Defektbereichen oder Fremdmaterial-Bedeckungen. Durch Variation der Wellenlänge kann, wie im Bild gezeigt, die Nachweispfindlichkeit des Photoelektronenmikroskops auf Defekte optimiert werden.

Bezugszeichenliste

α Einfallswinkel der EUV-Strahlung auf die Oberfläche des Umlenkspiegels	
β Einfallswinkel der EUV-Strahlung auf die Maskenoberfläche	15
γ Kippwinkel des Spiegels	
1 Maske	
2 Elektronenlinse (Objektiv)	
3 Elektronenlinse (Projektiv)	
4 Fluoreszenzschirm	20
5 EUV Primärstrahl	
6 Umlenkspiegel für die einfallende EUV-Strahlung (justierbar)	
7 hintere Objektivbrennebene	
8 Zwischenbild	25
9 Aperturblende (justierbar)	
10 Multilagen-Schicht des EUV-Umlenkspiegels	
11 EUV-Umlenkspiegel aus massivem Material	
12 Absorberschicht	
13 Spacerschicht (= Distanzschicht)	30
14 Aufgebrachte Maskenstruktur	

Patentansprüche

1. Inspektionsgerät für Lithographiemasken und Multilagen-Spiegel für die Lithographie im extremen Ultraviolett (EUV) mit einem elektronenoptischen Abbildungssystem, das mindestens eine abbildende Elektronenlinse (**2**) aufweist, sowie mit einer Nachweiseinrichtung, die einen Fluoreszenzschirm (**4**) umfasst, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der hinteren Brennebene (**7**) der Linse (**2**) oder in einer dazu konjugierten Ebene oder an anderer Stelle in der Nähe der elektronenoptischen Achse ein EUV-Umlenkspiegel (**6**) angeordnet und derart ausgerichtet ist, dass der seitlich einfallende EUV-Primärstrahl (**5**) auf das zu untersuchende Objekt (**1**) in nahezu senkrechtem Einfall umgelenkt wird.
2. Gerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Wellenlänge der einfallenden EUV-Strahlung (**5**) gleich der Sollwellenlänge für die Lithographieanwendung ist bzw. in einem Wellenlängenintervall um diese Sollwellenlänge variiert werden kann.
3. Gerät nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass die wirksame Fläche des Umlenkspiegels (**6**) unter einem Winkel von $\alpha = 45^\circ$ zur Achse der einfallenden EUV-Strahlung (**5**) angeordnet ist.
4. Gerät nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Umlenkspiegel (**6**) in der hinteren Brennebene (**7**) der Linse (**2**) justierbar und schwenkbar angeordnet ist, so dass der Einfallswinkel β auf das zu untersuchende Objekt (**1**) um den Sollwinkel für die Lithographieanwendung variiert werden kann.
5. Gerät nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die spiegelnde Oberfläche aus einer Multilagen-Schicht (**10**), einem einkristallinen oder einem polykristallinen Material (**11**) besteht.

6. Gerät nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass eine Aperturblende (**9**) in einem Crossover des Elektronenstrahls hinter einer weiteren Linse (**3**) zur Unterdrückung des Untergrundes der am Objekt rückgestreuten EUV-Strahlung angeordnet ist.
7. Gerät nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Aperturblende (**9**) zur Optimierung von Kontrast- und Bildhelligkeit räumlich justierbar angeordnet ist.
8. Gerät nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass zur Steigerung der Bildhelligkeit ein Elektronenvervielfacher vor dem Fluoreszenzschirm angebracht ist.
9. Gerät nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erhöhung der Vergrößerung eine weitere Linse (**3**) oder mehrere weitere Linsen (Projektive) in den Strahlengang eingefügt sind.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

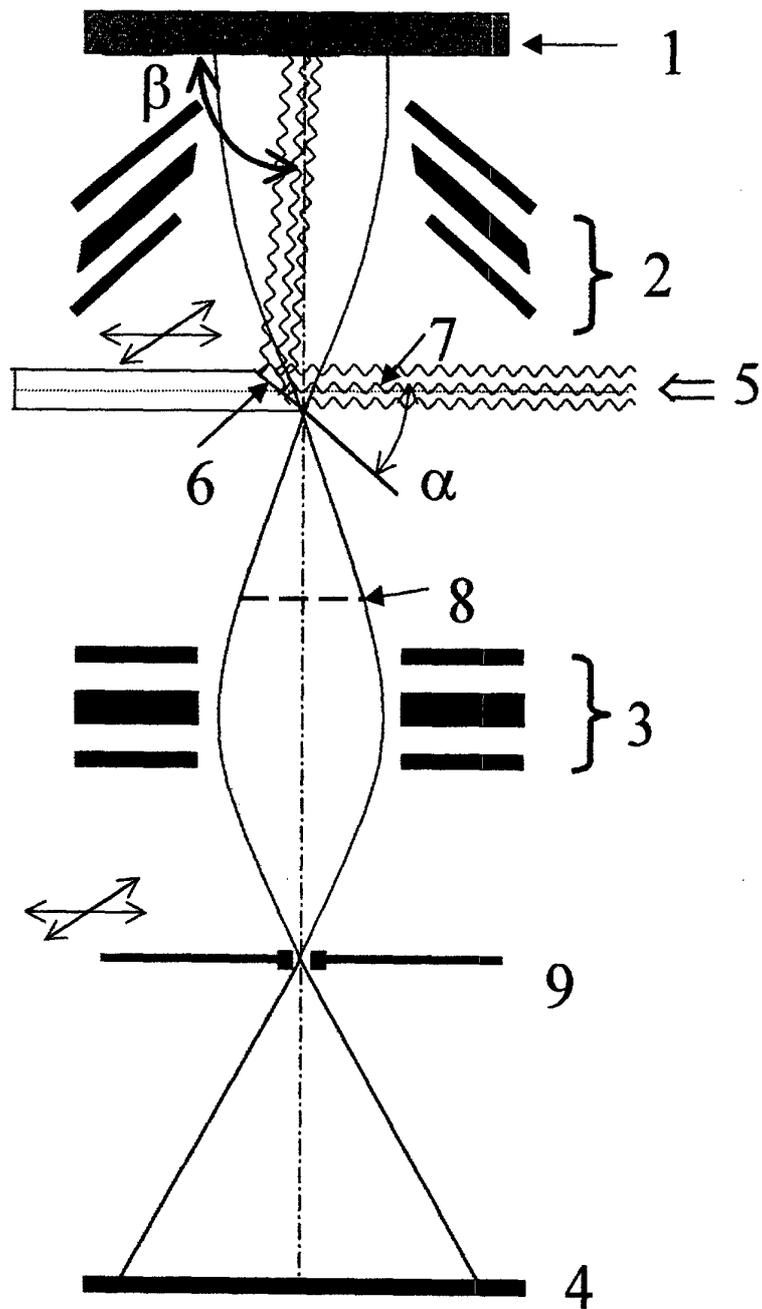


Fig. 1

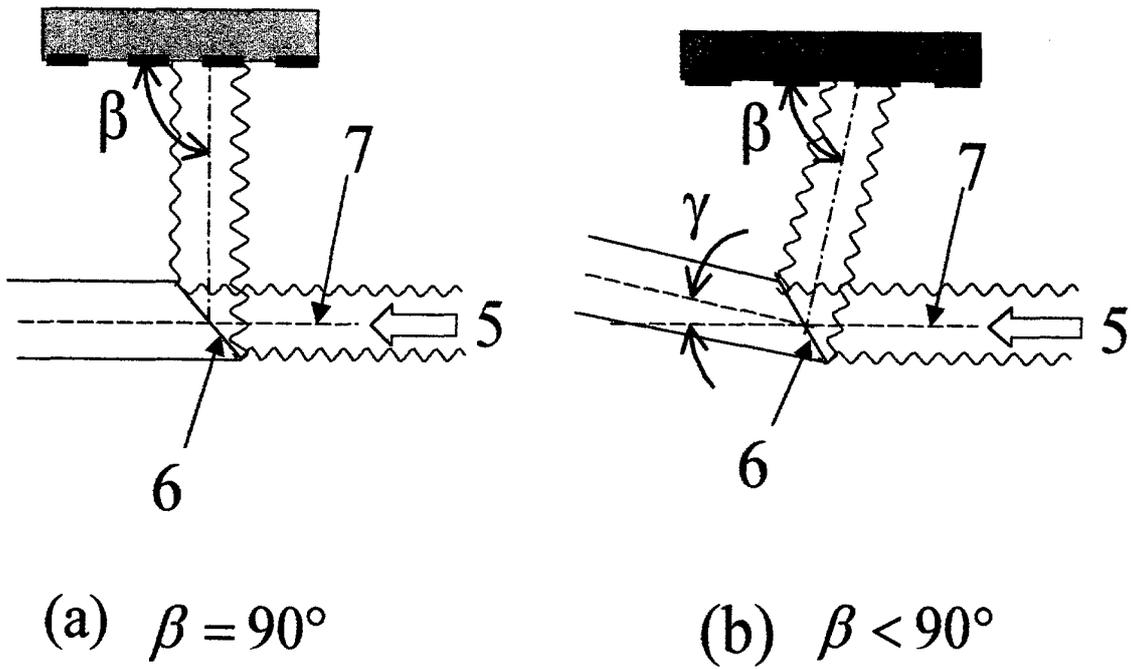
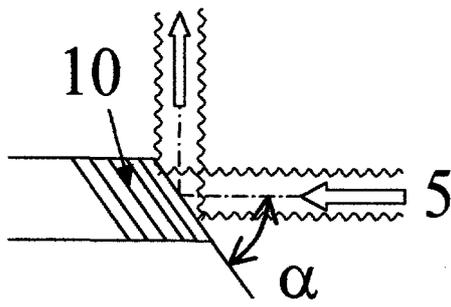
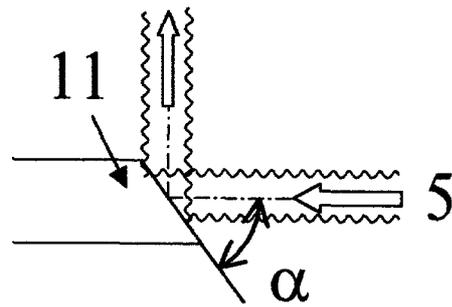


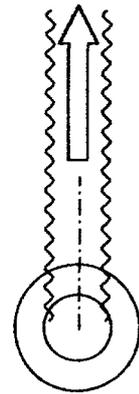
Fig. 2



(a)



(b)



(c)

Fig. 3

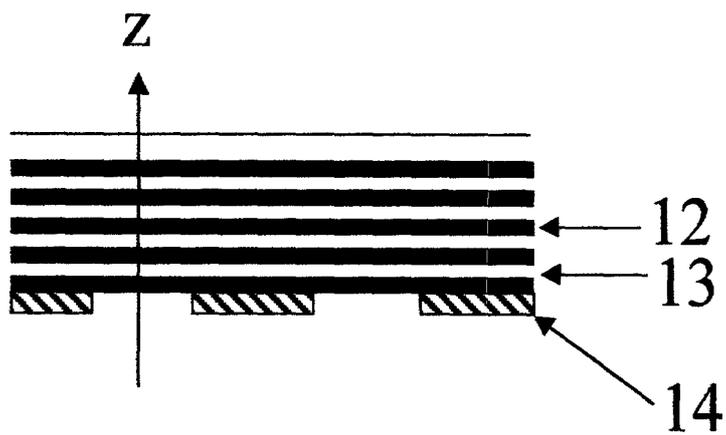


Fig. 4

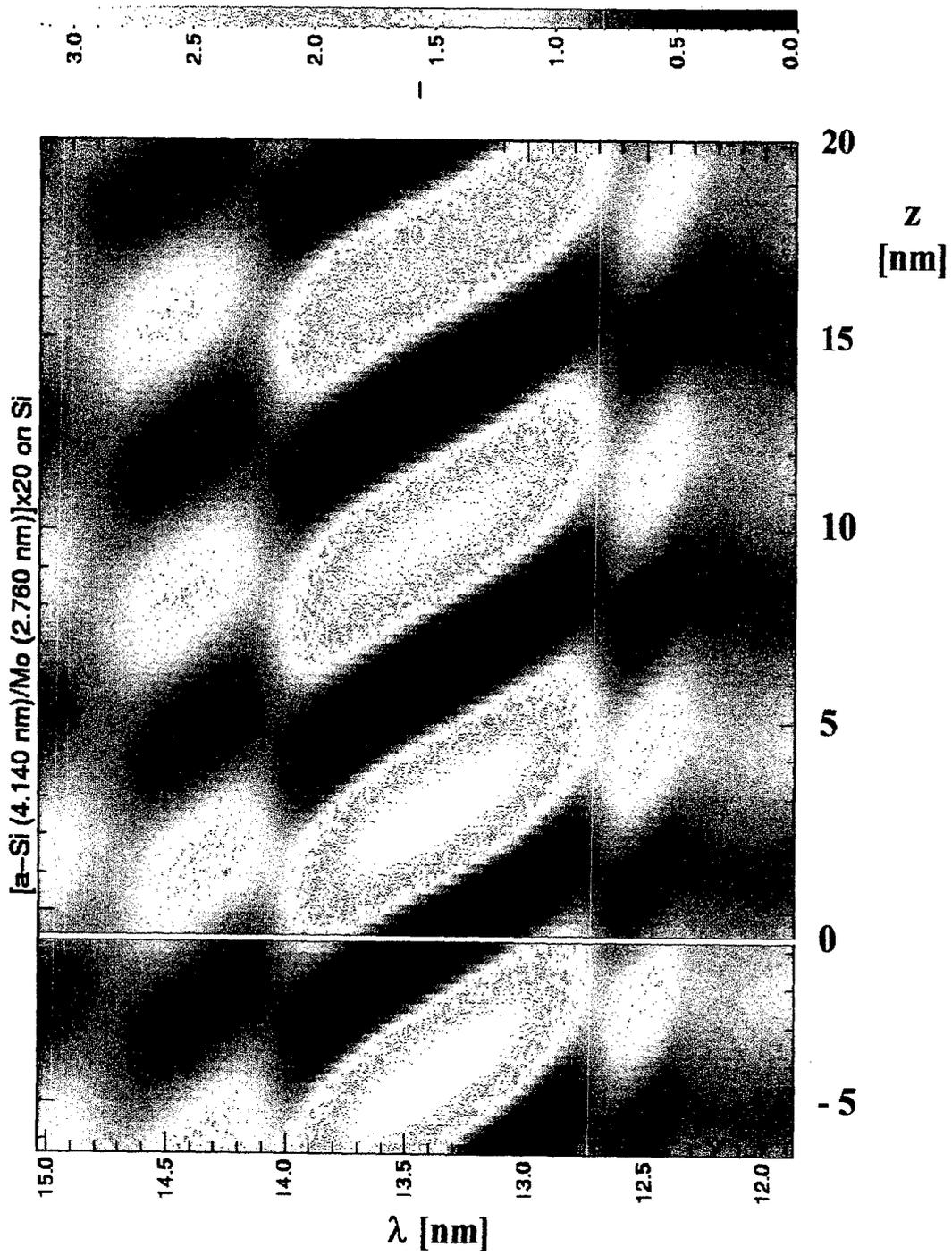


Fig. 5