

Statusbericht über die Arbeiten mit dem Alpha-Ionenprojektor

E. Cekan, W. Fallmann, G. Stangl
Institut für Allgemeine Elektrotechnik und Elektronik, TU Wien
1040 Wien

H. Löschner, G. Stengl
IMS - Ionen Mikrofabrikations Systeme GmbH,
Schreygasse 3, A-1020 Wien

1. Einleitung

Für eine zukünftige Produktion von Halbleiterbauelementen mit einer minimalen Linienbreite von weniger als $0,25\ \mu\text{m}$ ist die Verwendung von geladenen Teilchen zur Strukturübertragung Maske-Wafer von großem Vorteil. Dazu stehen Elektronen und Ionen zur Verfügung.

Bei der Verwendung von Ionen für eine projizierende Strukturübertragung kommen eine Reihe von Vorteilen, wie z. B. die geringe Streuung der Ionen im Resistmaterial zum Tragen. Weiters sind die hohe Schärfentiefe, sowie die Möglichkeit der elektrostatischen Bildversetzung und Justierung, also ohne Bewegung mechanischer Teile von großer Bedeutung. Auch können die Ionen im Resist gestoppt werden, wodurch das Damage im Substratmaterial vermieden wird, da die durch das Abstoppen der Ionen induzierte Röntgenstrahlung vernachlässigbar ist.

Aufgrund der Erkenntnisse mit den Ionen-Projektions-Lithographie-Maschinen IPLM-01 und IPLM-02 [1] wurde 1989 der ALPHA-Ionenprojektor mit 3-facher ionenoptischer Verkleinerung realisiert. In den Jahren 1990/1991 arbeitete der ALPHA-Ionenprojektor mit 10-facher Verkleinerung (ALPHA-10x), und seit Mitte 1991 mit 5-facher Verkleinerung (ALPHA-5x).

2. ALPHA Ionenprojektor

Abb.1 zeigt den Aufbau des ALPHA-Ionenprojektors. Wasserstoff- oder Heliumionen werden aus einer Duoplasmatron Ionenquelle (*IS*) extrahiert. Durch ein spezielles Extraktionssystem erreicht man eine virtuelle Ionenquelle mit einem Durchmesser von weniger als $10\ \mu\text{m}$. Eine ExB Massenseparationseinheit (*ExB*) filtert die gewünschte Ionensorte heraus. Mit diesem Ionenstrahl wird bei der ALPHA-10x mit einer als Kondensorlinse arbeitenden Feldlinse ("Beam Line Lens", *BL*) die Open Stencil Mask (*M*) mit einem Strahldurchmesser von $70\ \text{mm}$ bestrahlt. Bei der ALPHA-5x wird die Maske mit einem telezentrischen Ionenstrahl ($\leq 5\ \text{mrad}$) im Durchmesser von $85\ \text{mm}$ bestrahlt. Dies wird durch einen Kondensator vom Typus einer Einzellinse erreicht. Die Open Stencil Masken sind in einem speziellen Rahmen eingespannt, die sich auf einem Maskenrad befinden. Die Maske im Strahlengang wird mit Hilfe dreier V-Nuten am Maskenrahmen und Paßstiften an der Belichtungsstation positioniert.

Die typische Belastung der Maske liegt im Bereich von mW/cm^2 . Die durch den Ionenstrahl hervorgerufene Erwärmung der Maske ist für Siliziummasken und für kohlenstoffbeschichtete Metallmasken (hohe thermische Emissivität) sehr gering. Es besteht auch die Möglichkeit durch radiatives Kühlen eine Aufwärmung der Maske zu verhindern [2].

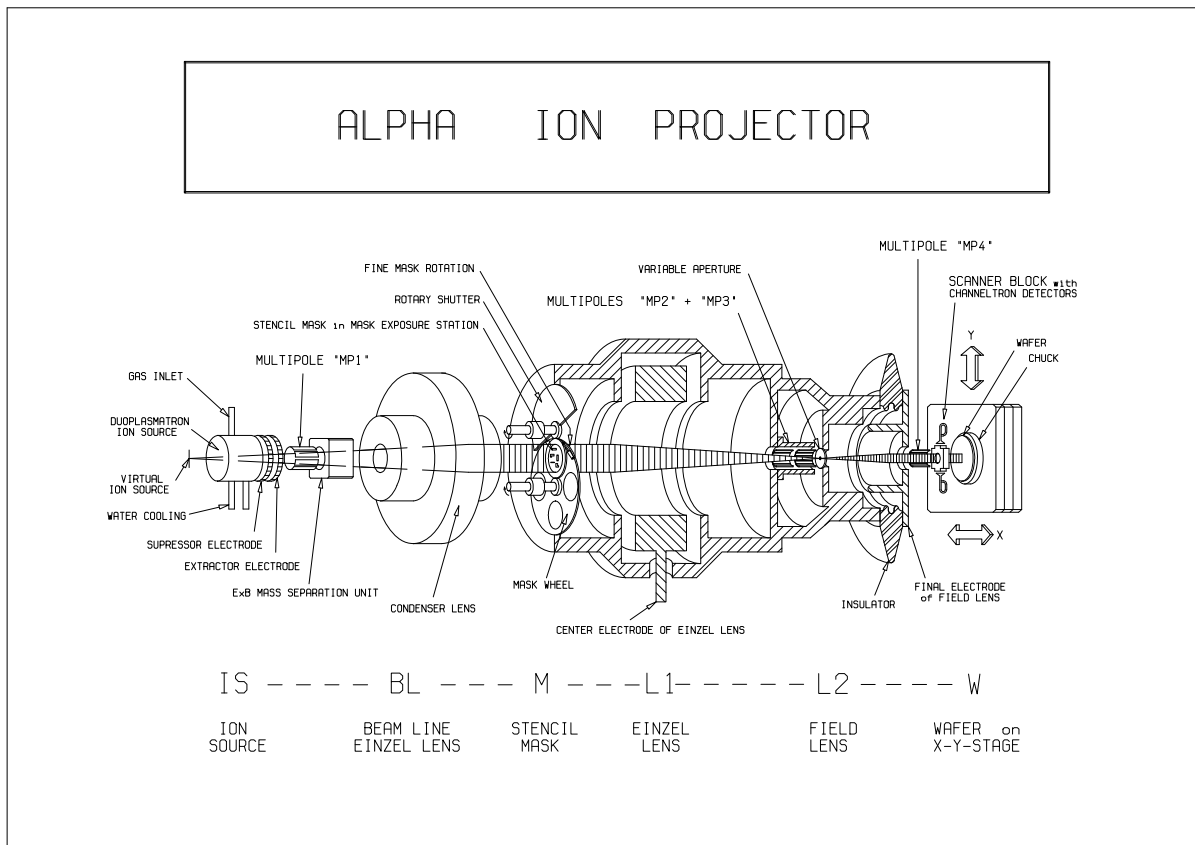


Abb. 1: ALPHA-Ionenprojektor mit 5-facher ionenoptischer Verkleinerung (ALPHA-5x)

Der durch die Maske strukturierte Ionenstrahl wird mit Hilfe eines elektrostatischen Linsensystems verkleinert am Wafer (W) abgebildet. Das Linsensystem besteht aus einer Einzellinse ($L1$) und einer Feldlinse ($L2$). Als Shutter dient der elektrostatische Multipol $MP1$.

3. Elektronisches Alignment ("Pattern Lock")

Abb. 2 zeigt das Prinzip des elektronischen Alignments. Die Stencil-Maskenfolie beinhaltet ein Designfeld ($40\text{ mm} \times 40\text{ mm}$) umgeben von 8 schlitzförmigen Öffnungen. Diese acht Teilstrahlen des strukturierten Ionenstrahls ("*Ion-Alignment-Beamlets*") und die dem strukturierten Designfeld entsprechenden Ionenstrahlen ("*Die Beam*") passieren den sogenannten "*Scanner-Block*", welcher zwischen dem elektrostatischen Linsensystem und dem X-Y-Tisch (Wafer) montiert ist. Der "*Die Beam*" gelangt ungehindert durch den Scannerblock. Die Alignment-Beamlets werden mit Hilfe von Ablenkplatten im korrespondierenden Schlitz des Scanner-Blocks über spezielle Gruben (bzw. Schlitze) der Referenzplatte gescannt. Die entstehenden Sekundärelektronen und auch reflektierte Ionen werden durch 8 "*Channeltron Detektoren*" erfaßt.

Mit den Detektorsignalen kann der Zustand des Ionenbildes (z.B. X- und Y-Richtung, Rotation, Maßstab) charakterisiert werden. Ein Teil dieser Information wird über einen Regelkreis dem elektrostatischen Multipol $MP4$ zugeführt. Mit einem Dipolfeld kann die Position des Ionenbildes in X- und Y-Richtung kontrolliert werden ("*Beam-Lock*"), mit Quadrupol- und Hexapolfeldern können die Bildverzerrungen minimiert werden. Darüber hinaus erlaubt eine Servo-Loop mit der Einzellinse $L1$ eine Kontrolle des Maßstabes ("*Pattern-Lock*").

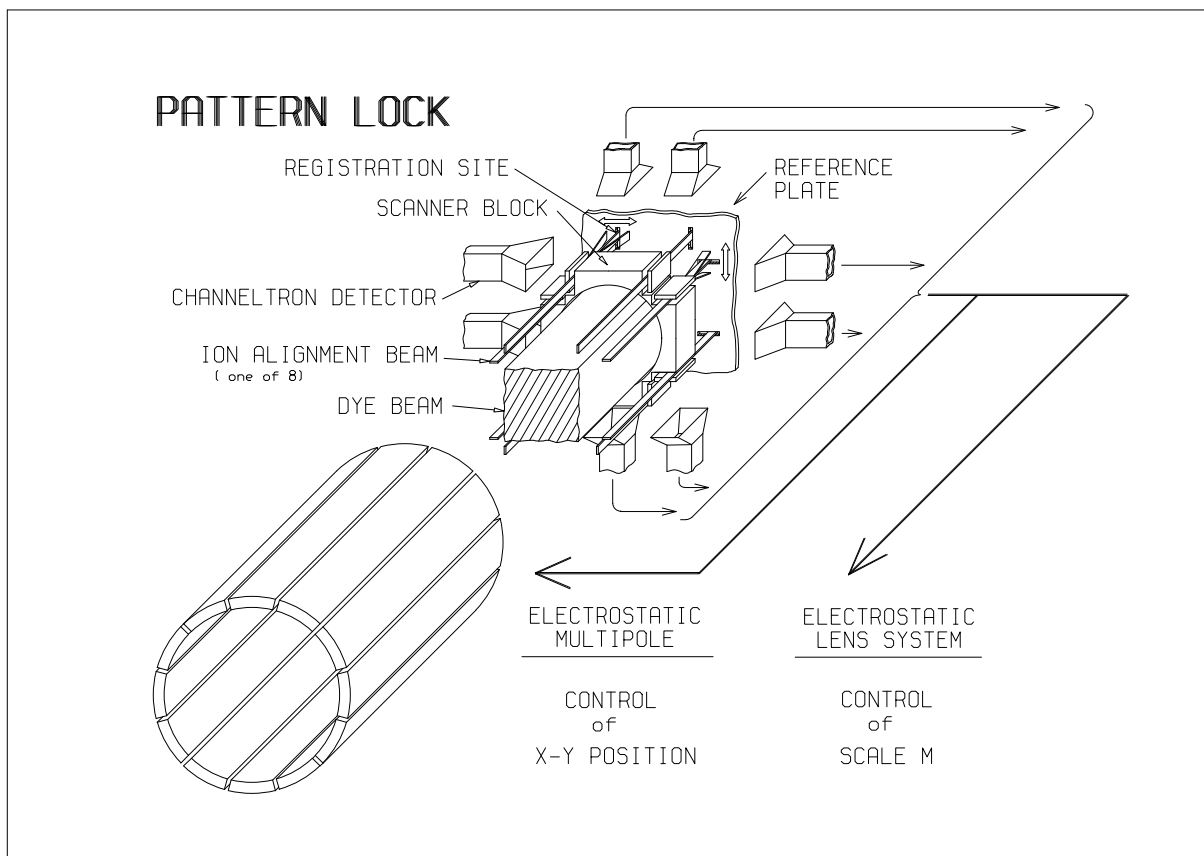


Abb. 2: Prinzip des Elektronischen Alignments

4. "Electrostatic-Step-Exposure"

Verschiedene Strukturen, wie z.B. Kreisring, können in einer Open-Stencil-Maske aus physikalischen Gründen nicht realisiert werden. Eine Möglichkeit, solche Ringstrukturen am Wafer zu realisieren, besteht im Designsplitting. Dabei werden die gewünschten Strukturen in komplementäre, sich ergänzende Figuren aufgeteilt. Für einige Anwendungen kann diese Aufspaltung auf einer Maske vorgenommen werden. Das projizierte Ionenbild wird nun mehrfach, entsprechend dem Zerlegungsgrad des Designs, mit genau definierter Versetzung am Wafer abgebildet (Electrostatic-Step-Exposure [3], Abb.3). Das Ionenbild wird durch ein geeignetes Dipolfeld des elektrostatischen Multipols $MP4$ versetzt, welcher sich zwischen der ionenoptischen Säule und dem Wafer befindet.

5. Experimente mit dem ALPHA Ionenprojektor

Mit dem ALPHA-10x-System konnte eine Auflösung von $0,1 \mu\text{m}$ in einem $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ Bildfeld erreicht werden. Die kleinsten Strukturen hatten eine Breite von $\approx 50 \text{ nm}$. Die Versuche mit dem elektronischen Alignment mit Hilfe der Referenzplatte in X- und Y-Richtung (Beam-Lock) zeigten eine Positionierungsgenauigkeit von besser als 15 nm [4]. Erstmals wurden auch Quantendevise-Teststrukturen in Novolack-Resist belichtet [5].

Mit dem ALPHA-5x Ionenprojektor wurden innerhalb eines Bildfeldes von $8 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ Auflösungstests mit Nickel- und Siliziumtestmasken in verschiedenen Resistmaterialien

durchgeführt. Die Siliziummaskenfolien hatten einen Durchmesser von 120 mm, eine Dicke von 2,5 μm und kleinste Linienraster von 0,45 μm Öffnungsbreite. Die Maskenöffnungen wurden mit Hilfe von MEBES-III Elektronenstrahlschreibern und raktiven Ionenätzen auf Brom-Plasma Basis innerhalb eines Maskenfeldes von 60 mm x 60 mm realisiert [6]. Weiters wurden Versuche mit dem elektronischen Alignmentsystem, erweitert auf X, Y und Maßstab ("Pattern-Lock") durchgeführt. Das elektronische Alignment wurde mit einer Wiederholfrequenz bis zu 80 Hz betrieben, d.h. das alle 12,5 ms der Status des projizierten Ionenbildes hinsichtlich X, Y und Maßstab vermessen und gegebenenfalls elektronisch korrigiert werden konnte. Mit Hilfe einer *In-Situ* Metrologieeinrichtung wurde die Verzeichnung des projizierten Ionenbildes innerhalb des 8 mm x 8 mm Bildfeldes evaluiert. Die maximale Verzeichnung war kleiner als 0,15 μm in ausgezeichneter Übereinstimmung mit ionenoptischen Berechnungen 5. Ordnung [7]. Ionenoptische Belichtungen zur Herstellung von Quantendeviceteststrukturen wurden mit der in Punkt 4 beschriebenen "Electrostatic-Step-Exposure"-Technik durchgeführt [8].

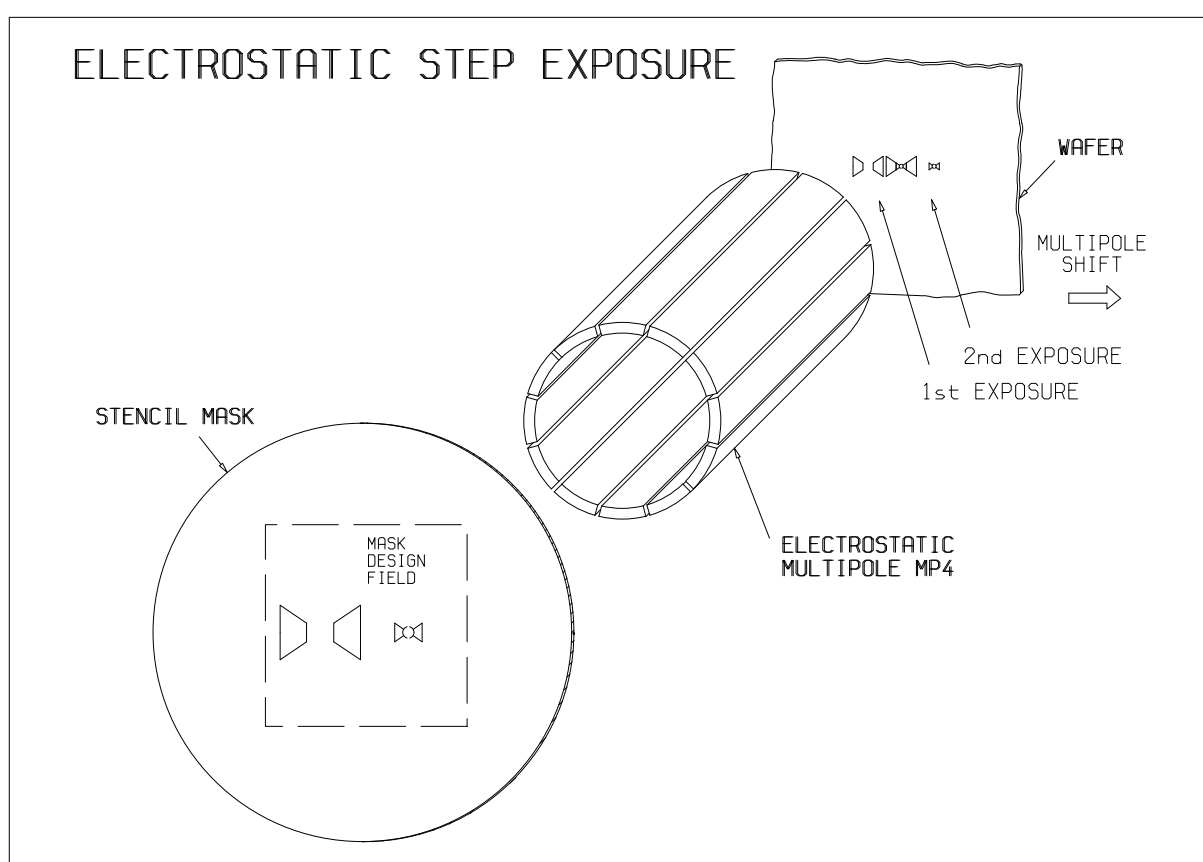


Abb. 3: Prinzip der "Electrostatic-Step-Exposure"-Technik

Literaturverzeichnis

- [1] W. Fallmann, F. Paschke, G. Stangl, L. Buchmann, A. Heuberger, A. Chalupka, J. Fegerl, R. Fischer, H. Löschner, L. Malek, R. Nowak, G. Stengl, C. Traher, P. Wolf, Ion Projection Lithography, Electronic Alignment and Dry Development of IPL exposed resist materials, AEÜ, Band 44 (3), 208 (1990).
- [2] A. Chalupka, H. F. Glavish, H. Löschner, G. Stengl, US Patent 4;916,322.

-
- [3] H. Löschner, G. Stengl, A. Chalupka, J. Fegerl, R. Fischer, G. Lammer, L. Malek, R. Nowak, C. Traher, P.Wolf, Ion Projection Lithography for Vacuum Microelectronics, t.b.p. in J. Vac. Sci. Technol. B11 (2) March/April 1993.
 - [4] A. Chalupka, J. Fegerl, R. Fischer, G. Lammer, H. Löschner, L. Malek, R. Nowak, G. Stengl, C. Traher, P.Wolf, ALPHA-10x: Newly developed Ion Beam Projector for Fine-Line Lithography, ISIAT'91 Tokyo (1991).
 - [5] E. Cekan, W. Fallmann, W. Friza, F. Paschke, G. Stangl, P. Hudek, E. Bayer, H. Kraus, Sub-0,25 μm Ion Projection Lithography (IPL) in PMMA and Novolack based Resist materials (RAY-PF, RAY-PN, SAL 603), Microelectronic Engineering 17, 241, (1992).
 - [6] G. Stengl, G. Bösch, A. Chalupka, J. Fegerl, R. Fischer, G. Lammer, H. Löschner, L. Malek, R. Nowak, C. Traher, P.Wolf, P. Mauger, A. Schimkunas, S. Sen, J. C. Wolfe, Ion projector wafer exposure results at 5x ion-optical reduction obtained with nickel and silicon stencil masks, J. Vac. Sci. Technol. B 10(6), Nov/Dec 1992.
 - [7] G. Stengl, G. Bösch, A. Chalupka, J. Fegerl, R. Fischer, G. Lammer, H. Löschner, L. Malek, R. Nowak, C. Traher, H. Vonach, P.Wolf, In-Situ Distortion Measurement of an Ion Projector with 5x Ion-Optical Reduction, J. Vac. Sci. Technol. B 10, 2838, Nov/Dec 1992.
 - [8] G.Stangl, E. Cekan, Ch. Eckes, W. Friza, F. Thalinger, A. Bruckner, P. Hudek, W. Fallmann, Newly developed Novolack-based resist materials for Ion Projection Lithography (IPL) with structure dimensions of 200-100 nm, Microcircuit Engineering, ME 92 Erlangen, Sept. 1992, t.b.p.in Microelectronic Engineering 1993.