

Von Mikro zu Nano

Der technologische Wettlauf im Bereich Mikroelektronik geht unvermindert weiter. Schott Lithotec liefert dabei Materialien für Waferstepper, die immer winzigere Chip-Strukturen realisieren können.



► Die Vorsilbe „Mikro“ dürfte in absehbarer Zukunft vom Präfix „Nano“ abgelöst werden, denn die Branche der Bits und Bytes ist mit großem Tempo auf dem Weg in den Nanokosmos, wo nicht mehr Millionstel, sondern Milliardstel Meter (Nanometer = nm) das Maß aller Dinge sind. Unverändert gilt das Moore'sche Gesetz, nach dem sich alle 18 Monate die Komplexität der Chips verdoppelt, indem immer kleinere Strukturen auf den Silizium-Wafern realisiert werden.

Untrennbar verknüpft mit dem rasanten Fortschritt, den die Mikroelektronik in der gesamten Technik generiert, ist die Optische Lithographie, gewissermaßen das Werkzeug für die Erfolgsgeschichte. Immer kleinere Handys, immer leistungstärkere Computer, sicherere Autos, Kommunikation mit Lichtgeschwindigkeit – all diese Produkte und viele mehr sind nur durch das rasante Innovationsstempo der Halbleiterchips möglich.

Optische Hightech-Materialien aus Jena

Inzwischen haben deutsche und europäische Firmen gewichtige Anteile an der benötigten Technologie. Das gilt insbesondere für Schott Lithotec AG in Jena: „Wir verfügen als einziger Lieferant weltweit über das gesamte Spektrum an optischen Hightech-Materialien, um heutige und zukünftige Anwendungen in der Mikrolithographie abzudecken“, erklärt Dr. Martin Heming, Vorstandsvorsitzender der Schott Lithotec AG. Dazu gehören u.a. Spezialgläser für

kurzwelliges blaues Licht, Quarzglas und künstliche Kalziumfluoridkristalle. Insbesondere im Bereich der heute aktuellen 193-nm- und der künftigen 157-nm-Technologie für leistungstärkste Waferstepper ist das Unternehmen führend in Forschung und Produktion der benötigten optischen Materialien und der daraus abgeleiteten Komponenten und Systeme.

Internationale Anerkennung

Für diese Anstrengungen erhält die Schott Tochter zunehmend internationale Anerkennung: „Schott Lithotec ist ein Lieferant von steigender Bedeutung für uns und die gesamte Halbleiterindustrie. Das gilt insbesondere bei der weiteren Realisierung des Moore'schen Gesetzes und damit der Abbildung von immer kleineren Strukturen, wobei Lichtquellen für 157 nm nötig werden

Immer kleiner werden künftig die Leiterbahnstrukturen, die auf Silizium-Wafer aufgebracht werden. Dies bedeutet nicht nur ein Plus an Leistung, sondern auch kostengünstigere Chipfertigung.

und ein größerer Bedarf an Kalziumfluorid für die Linsenfertigung entsteht“, betont David Skinner, Vertriebschef der Cymer Incorporated in San Diego (Kalifornien). Die Amerikaner sind weltweit führender Anbieter von Excimer-Lasern als Lichtquelle in Wafersteppern und haben erst kürzlich ihre Zusammenarbeit mit Schott Lithotec intensiviert.

Lithographiegeräte: Schritt für Schritt

Waferstepper bzw. Waferscanner ähneln vom Funktionsprinzip her einem überdimensionalen Diaprojektor, wobei hier die Strukturen des „Dias“ (Maske) verkleinert werden: Diese Belichtungsmaschinen übertragen die Strukturen von der Maske auf die mit Fotolack beschichteten Silizium-Scheiben (Wafer). Auf diese Weise werden Anordnung und Form der Leiterbahnen auf dem Halbleitersubstrat angelegt. Bis zur kompletten Struktur eines Schaltkreises sind bis zu 30 aufeinander folgende Schritte von Belackung, Belichtung und nachfolgender Prozessierung nötig.

Die Lithographiegeräte bestehen grundsätzlich aus einer Strahlenquelle, einem optischen Strahlführungssystem für das Licht und einem optischen Abbildungssystem sowie Photomasken. Die Chip-Massenproduktion erfolgt heute mit Excimer-Lasern von 248 nm als Strahlenquelle, wobei gerade die Umstellung auf 193 nm mit Argon-Fluor-Excimer-Lasern erfolgt. Der nächste Schritt zu 157 nm mit Fluor-Lasern ist bereits von allen bedeutenden Belichtungsgeräteherstellern eingeleitet, wozu insbesondere die niederländische ASML sowie die japanischen Hersteller Canon und Nikon gehören.



Das optische Hightech-Material Kalziumfluorid wird aufgrund seiner hohen Strahlungsresistenz und dem Fehlen jeglicher „compaction“ (= lokale Dichteänderung) unter Laserbeschuss in der Mikrolithographie als Linsenmaterial eingesetzt.

„Unsere führende Position bei den Strahlungsquellen hängt auch damit zusammen, dass wir uns auf eine kleine Gruppe von besonders wichtigen Zulieferern verlassen, die unsere Qualitätsanforderungen erfüllen und über zeitgemäße Verfahren verfügen. Schott Lithotec gehört ohne Zweifel in den Kreis dieser ‚key supplier‘“, lobt Skinner die deut-

schen Partner. Erst kürzlich hat Cymer seine neue MOPA-Technologie vorgestellt, wobei das Kürzel für „Master Oscillator Power Amplifier“ steht. MOPA arbeitet mit zwei Entladungskammern statt nur einer für die Lichterzeugung, was eine Reihe von Vorteilen mit sich bringt: höhere Leistung, engere Bandbreite und geringere Betriebskosten.

Zudem sind alle Wellenlängen, die heute eine Rolle spielen (248, 193 und 157 nm), verfügbar. MOPA-Lichtquellen sind für die neue Typenreihe von Cymer unter der Bezeichnung XL vorgesehen und ab 2003 verfügbar. Ende Juli erhielt Cymer einen ersten Auftrag im Wert von über 130 Mio. Dollar für XLA 100-Systeme, die für 193 nm ausgelegt sind und ab 2004 geliefert werden sollen.



Prinzipskizze ASML-Waferstepper (links). Das US-Unternehmen Cymer hat jetzt mit seinen innovativen XLA 100-Systemen und der sogenannten „MOPA-Technologie“ noch leistungsfähigere Excimer-Lasern entwickelt.

EUVL: Radikaler Technologiewechsel

Zwar wird die 157-nm-Technologie, die Strukturgrößen von 70 nm ermöglicht, erst ab 2006 in die Produktion von Chips einziehen, dennoch bereitet die gesamte Branche bereits den nächsten Step vor. Dabei handelt es sich um einen Riesenschritt, der direkt von den 157 nm auf die EUV-Wellenlänge von 13,5 nm führt (siehe auch Schott info No. 99, Seite 6ff). Nötig ist dieser Sprung ins Extreme Ultraviolett (EUV), weil es dazwischen keine vollständig erfüllbare Wertschöpfungskette gibt. Der endgültige Vorstoß in die Zwergenwelt (nanos ist der griechische Begriff für Zwerg) stellt einen ra-

dikalen Generationswechsel dar, weil es für 13,5 nm kein transparentes Material mehr gibt, so dass alle optischen Abbildungs- und Strahltransportsysteme auf reflektierende Optiksysteme (Spiegel) umgestellt werden müssen. Nur für die 13,5 nm existiert ein Materialkomposit, aus dem sich ein reflektierendes Schichtsystem herstellen lässt.

Noch ungeklärt ist die Art der Lichtquelle: „Ziemlich sicher ist, dass wir ein Plasma nutzen werden. Derzeit noch offen ist aber, ob dieses mittels Laser oder Gasentladung erzeugt wird“, erläutert Guido Schriever, Projektleiter EUV bei Xtreme Technologies (Göttingen, Jena), ein Joint Venture zwischen Jenoptik und Lambda Physik. Mit Plasma bezeichnen Wissenschaftler den vierten Zustand der Materie, die sich eindeutig von den bekannten Aggregatformen fest, flüssig und gasförmig unterscheidet. Plasmen sind vielmehr elektrisch leitende, energiereiche Gase aus Ionen, Elektronen und neutralen Teilchen, die sich in verschiedenen Energie- und Anregungszuständen befinden. Um die künftige Strahlenquelle gibt es einen spannenden Wettlauf, in den u.a. Cymer und Xtreme Technologies involviert sind.

Nullausdehnungsmaterialien im Fokus

Auch Schott Lithotec bereitet sich intensiv auf den Technologiesprung vor: „Wir haben mit ‚Zerodur‘ Glaskeramik eine hervorragende Grundlage für die benötigten Spiegel-

substrate. Zudem haben wir weitere Entwicklungsprojekte für neue Materialien und Komponenten u.a. für unbeschriebene Masken, sogenannte Mask Blanks, gestartet“, so Dr. Peter Rudakoff, Leiter Unternehmensbereich Komponenten der Schott Lithotec AG. Benötigt werden Spezialgläser bzw. Glaskeramiken mit geringstem thermischen Ausdehnungskoeffizienten, die mit einem hochreflektierenden Molybdän-Silizium-Schichtsystem (Mo/Si) ausgestattet sind, das aus über 100 Einzellagen von nur wenigen nm Dicke besteht.

Der Aufbau von EUV Mask Blanks stellt höchste Ansprüche an den Beschichtungsprozess. Das gilt insbesondere hinsichtlich Homogenität und Defektfreiheit. Mit der drastischen Verringerung der Strukturgrößen müssen auch die maximal zulässige Defektdichte und -ausdehnungen weiter gesenkt werden. Besonders problematisch sind Fehler, die eine bestimmte Größe überschreiten und dadurch im Lithographieverfahren mit abgebildet werden. Schwerpunkte der aktuellen Forschung sind daher die Reduzierung der Defektdichte und die Minimierung der mechanischen Spannung in den Schichten. Zudem wird von den EUV Masken eine möglichst hohe und gleichmäßige Reflexion gefordert.

Bisher ist es nur wenigen Forschungsinstituten weltweit gelungen, eine der beiden Randbedingungen – Defektfreiheit oder hohe Reflexion – zu erfüllen, wenn auch nur

im Labormaßstab. Dazu gehört das berühmte Lawrence Livermore National Laboratory (nahe Oakley, Kalifornien). Die für die EUV-Lithographie unabdingbare Verknüpfung beider Kriterien – zumal in einem industriellen Umfeld – zu etablieren, war bislang eine ungelöste Herausforderung.

Weltweit vorn

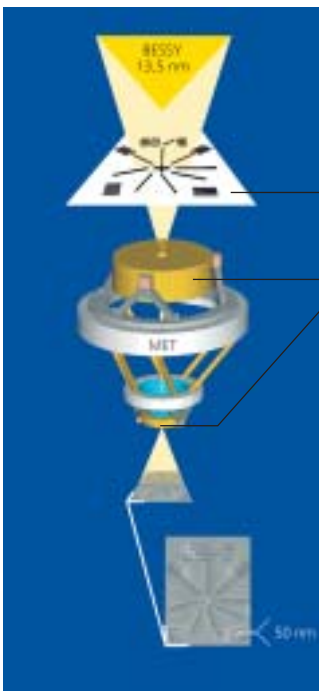
Erstmals ist es nun der Schott Lithotec AG und dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (IOF) in Jena im Rahmen eines Technologie-Transferprojektes gelungen, eine industrietaugliche Technologie zur hoch reflektierenden und defektfreien Beschichtung von EUV Mask Blanks zu etablieren. In der erfolgreichen Zusammenarbeit mit den Fraunhofer-Wissenschaftlern hat Schott Lithotec so in nur fünf Monaten ein Verfahren eingeführt, das den derzeit höchsten internationalen Standards entspricht. „Damit stärken wir erneut unseren Geschäftsbereich Komponenten und untermauern unser Vorhaben, einer der weltweit größten Anbieter von Mask Blanks zu werden“, freut sich Schott Lithotec-Chef Heming. Die für das Mo/Si-Schichtsystem erreichte Reflexion von 64,6 Prozent auf einem 6-Zoll EUV Mask Blank bei gleichzeitiger Defektfreiheit erfüllen die Anforderungen der Halbleiterindustrie für die kommenden Jahre schon heute. ◀

Schlüsseltechnologie Belichtung

Der Belichtungsprozess ist von zentraler Bedeutung, weil das Vermögen der Objektive in den Wafersteppern, noch feinste Details und kleinste Strukturen abzubilden, den Fortschritt der Mikroelektronik bestimmt. Je winziger diese sind, um so schneller laufen die Prozesse – anders ausgedrückt – die Taktrate des Prozessors steigt, der Stromverbrauch sinkt, und die Produktivität erhöht sich deutlich, denn der einzelne Chip benötigt weniger Platz auf dem Wafer.

Wie gewaltig der Sprung von den Anfängen der Lithographie Ende der 60er war, belegt auch ein Blick auf die verwendeten Objektive: Anfangs waren sie von einfachen Fotoobjektiven abgeleitet, in den 70er-Jahren bestanden sie dann schon aus einem guten Dutzend Einzellinsen mit einem Gesamtgewicht von bis zu 50 Kilogramm. Neueste Produktgenerationen verfügen bis zu 30 Einzellinsen und bringen an die 400 Kilogramm auf die Waage. Die gewünschte Erhöhung der optischen Auflösung kann grundsätzlich auf zwei Wegen erfolgen: Entweder man vergrößert die Linsendurchmesser oder man verwendet Licht mit kürzerer Wellenlänge.

Beide Optionen haben ihre Grenzen, so werden Einzellinsen ab einer bestimmten Größe unhandlich. Auf der anderen Seite benötigt man zur Nutzung von kurzwelligem Licht entsprechende Lichtquellen sowie optische Materialien, die für diese Strahlung transparent sind. Viele Experten hatten genau deshalb das Ende der optischen Lithographie schon vor zehn Jahren vorhergesagt – doch bislang haben neue Entwicklungen wie die Kalziumfluoridkristalle von Schott Lithotec, die für 157 nm durchlässig sind, alternativen Technologien immer wieder den Rang abgelaufen.



Für die Chipfertigung bedeutet die Nutzung von EUV-Strahlungsquellen einen radikalen Technologiewechsel. Dabei werden alle optischen Abbildungssysteme auf reflektierende Optik umgestellt.

Einen Prototypen für die EUVL-Technologie, das Micro Exposer Tool (MET) mit hochpräzisen Spiegeln statt Linsen, hat Carl Zeiss SMT AG in Kooperation mit dem Lawrence Livermore National Laboratory, Kalifornien/USA, entwickelt. Als Spiegelsubstrat für die neue Technologie eignet sich „Zerodur“ von Schott insbesondere aufgrund seines extrem geringen thermischen Ausdehnungskoeffizienten.

