Neue Möglichkeiten der digitalen Lithografie

Im Vergleich zu bestehenden Lithografieverfahren bietet ein **MASKENLOSER** Prozess Vorteile in Bezug auf die Flexibilität. Dank eines neuen Konzepts lässt sich dies nun auch mit Skalierbarkeit und Kosteneffizienz verbinden – bis hin zur Hochvolumenproduktion.

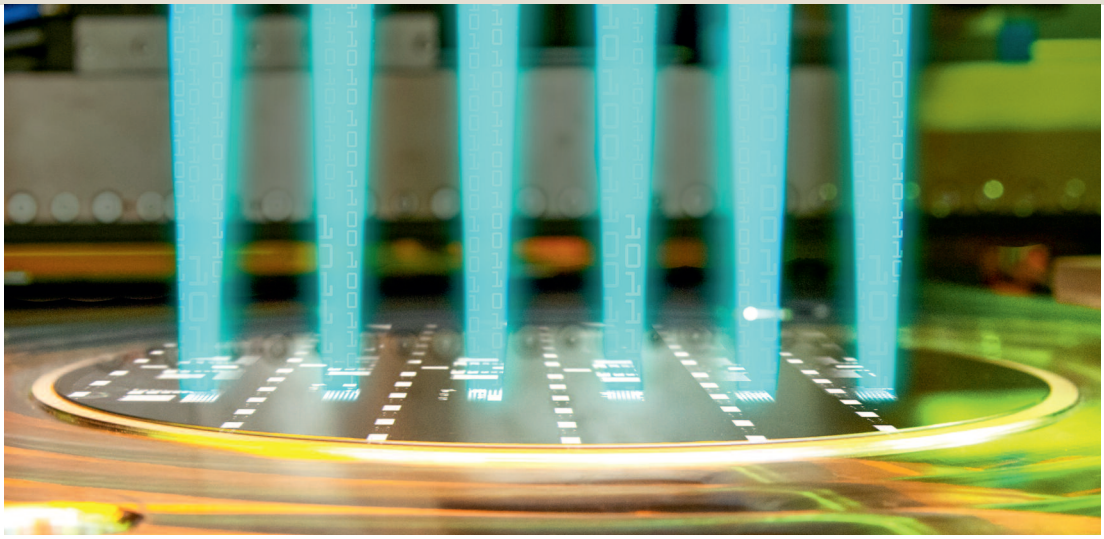


Bild 1. Die maskenlose Exposure-Technologie ermöglicht die nahtlose Belichtung der gesamten Substratoberfläche mit hoher Auflösung und eignet sich sowohl für die Pilot- als auch für die Hochvolumenproduktion

BOZENA MATUSKOVA UND THOMAS UHRMANN

Neue Anforderungen an die Leistungsfähigkeit und Flexibilität elektronischer Bauteile verändern in der Lithografie die Fertigungsinfrastruktur: weg von traditionellen, auf Fotomasken basierenden Verfahren hin zur digitalen Lithografie. Bei den ›Systems on Chip‹ werden monolithisch aufgebaute Lösungen zunehmend durch modulare ›Systems in Package‹, sogenannte ›Chiplets‹, sowie funktionale Blöcke ersetzt. Entsprechend steigt in der Back-End-Lithografie die Nachfrage nach skalierbaren und vielseitig einsetzbaren Verfahren zur Erstellung der elektrischen Verbindungen auf Package- und Systemebene. Um der Industrie neue Perspektiven zu eröffnen, werden neue Fertigungslösungen für die Massenproduktion benötigt, mit deren Hilfe neue funktionale Elemente mittels Advanced Packaging in kürzester Zeit integriert werden können. Für die industriellen Hochvolumenfertiger eröffnen sich jenseits traditioneller Verfahren zur Chip-Strukturierung ganz neue technologische Perspektiven für das Zeitalter der digitalen Lithografie. Vor diesem Hintergrund hat die EV Group aus dem österreichischen St. Florian am Inn die ›Maskless Exposure‹-Technologie (MLE) entwickelt **(Bild 1)**.

Skalierbar bis zur Massenfertigung

Ziel ist es, die mit Fotomasken verbundenen Probleme und Kosten zu eliminieren und die kritischen Anforderungen in der Massenproduktion zu adressieren, beispielsweise eine hohe Flexibilität bei Produktentwicklung und -design sowie kurze Entwicklungszyklen. MLE schlägt eine Brücke zwischen vielseitig einsetzbaren, aber langsamen Entwicklungsplattformen und schnellen, aber unflexiblen Produktionssystemen. Die Technologie stellt eine skalierbare Lösung dar, die gleichzeitig die Entwicklung auf der Die- beziehungsweise Chipebene und auf Waferebene ermöglicht. Das Verfahren unterstützt sowohl etablierte als auch neue Materialien und ist mit mehrfacher Redundanz für einen hohen Durchsatz mit hoher Produktionsausbeute bei niedrigen Gesamt-

> KONTAKT

HERSTELLER
EV Group
A-4782 St. Florian am Inn
Tel. +43 7712 5311-0
www.evgroup.com
Messe Semicon, München: Halle B1, Stand B1630

Bilder: EVG

© MIKROvent GmbH, Mainburg – www.mikroproduktion.com – nicht zur Verwendung in Intranet- und Internetangeboten sowie elektronischen Verteilern

Bild 2. MLE-Demo-System im Testraum bei EVG

kosten skalierbar. Damit erfüllt der MLE-Prozess die zentralen Anforderungen an die Back-End-Lithografie. Dies gilt über Anwendungen im Advanced Packaging hinaus auch in der MEMS-, Bio- und Medizintechnik sowie in der Leiterplattenfertigung. Die Kernpunkte der MLE-Technik sind:

- nahtlose, dynamische Fotoresist-Strukturierung der gesamten Substratoberfläche,
- Auflösung < 2 µm (Line/Space) in jeder beliebigen Richtung,
- Entwicklungs- beziehungsweise Designfreiheit und Datenschutz dank digitaler Layouts,
- Individualisierung einzelner Dies beziehungsweise Chips (Seriennummern, Verschlüsselungscodes etc.),
- Verzerrungskompensation durch adaptive Registrierung/Passmarkenerkennung über den gesamten Wafer,
- keine Beeinträchtigung durch verzogene oder deformierte Substrate,
- intelligente und dynamische digitale Lithografieprozess-Infrastruktur sowie
- verbrauchsmaterialfreie Equipment-Technologie.

Herausforderungen für die Back-End-Lithografie

Nachdem die heterogene Integration zunehmend zur treibenden Kraft hinter vielen Entwicklungen im Halbleiterbereich avanciert, steigen auch die Anforderungen an die Back-End-Lithografie. Zum Beispiel wird im Advanced Packaging die erforderliche minimale Auflösung für Redistribution-Layer (RDL) und Interposer mit ihren stetig kleiner werdenden Line/Space-Strukturgrößen immer stringenter. In einigen Fällen werden bereits Strukturgrößen bis zu 2 µm oder darunter angepeilt, während Abweichungen bei der Platzierung der Dies und die Verwendung kosteneffizienter, organischer Substrate gleichzeitig eine höhere Flexibilität bei der Strukturierung erfordern. Die Nachfrage nach höherer Justiergenauigkeit ▶

© MIKROvent GmbH, Mainburg – www.mikroproduktion.com – nicht zur Verwendung in Intranet- und Internetangeboten sowie elektronischen Verteilern

NEUE
TISCHMASCHINE
SX80 - hpm
HOCHPRÄZISE MIKRO EDM MASCHINE

SO EINFACH
UND
SO EFFIZIENT!

MIKRO EDM BOHREN
UND
3D MIKRO EDM FRÄSEN

MICRO MECHANICS
MICRO MOLD
AUTOMOTIVE
TEXTILE
MEDICAL
AEROSPACE

SARIX
3D MICRO EDM MACHINING
sarix.com

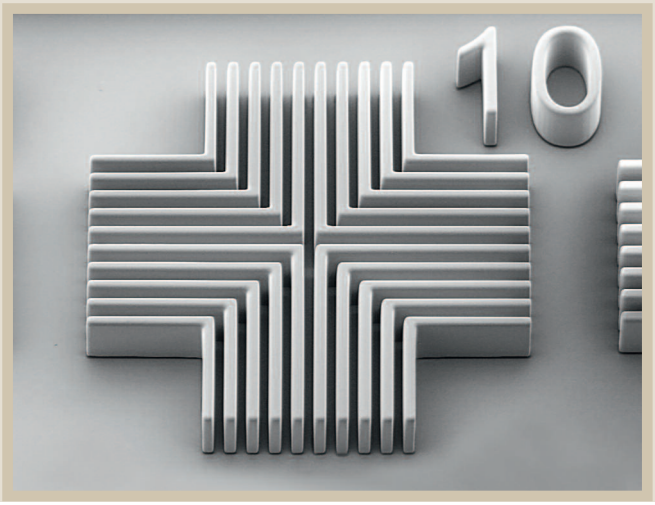


Bild 3. Maskless Exposure in 50 µm dickem Layer (Negativ-Resist)

(Overlay) sowie einer großen Tiefenschärfe bei der Strukturierung vertikaler Seitenwände steigt ebenfalls. Neue Herausforderungen bestehen auch in der Minimierung der Musterverzeichnung sowie in der Verschiebung einzelner Dies aufgrund von Verzerrungen der Wafer bei Anwendungen im Fan-out Wafer-Level Packaging (FoWLP). Auch die Unterstützung dicker und dünner Resists gehört zu den Kriterien, die künftige Lithografiesysteme für das Advanced Packaging erfüllen müssen.

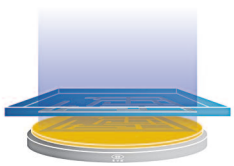
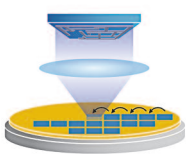
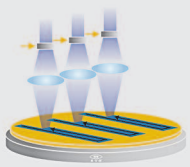
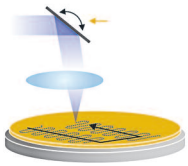
Lithografie zur Strukturierung

Das Kernelement jedes Lithografieprozesses ist die Exposure-Einheit, welche die charakteristischen Eigenschaften der jeweiligen Technologie bestimmt. Derzeit sind am Markt mehrere Exposure-Methoden verbreitet **(Tabelle 1)**. Mit Mask Alignern werden die Strukturen durch eine Fotomaske, die sich dicht über dem mit Fotolack (Resist) beschichteten Wafer befindet, direkt belichtet. Dabei wird die maximale Auflösung durch den Abstand zwischen Maske und Wafer bestimmt. Je geringer der Abstand der Fotomaske zur Oberfläche des Fotolacks ist, desto feinere Strukturen sind möglich, wobei ein zu geringer Abstand zur Kontaminierung der Maske und damit zu Fehlern sowie geringerer Produktionsausbeute führen kann. Obwohl die maximale Auflösung von Mask Alignern im Produktionseinsatz auf mehre Mikrometer begrenzt ist, ermöglichen diese eine kostengünstige Strukturierung mit hohem Durchsatz, vor allem wenn hohe Belichtungsdosen und dicke Fotoresists oder Wafer-Level-Designs benötigt werden.

Um einige dieser Einschränkungen zu umgehen, verwenden Back-End-of-Line-(BEOL-)Stepper zwischen Maske oder Retikel und Wafer Projektionsoptiken zur Erzeugung kleinerer Strukturen ohne Kontamination. Allerdings erfolgt die Belichtung bei Steppern sequenziell oder schrittweise, da dem optischen Aufbau der komplexen Objektive und damit der Größe des belichteten Bereichs Grenzen gesetzt sind.

Mask Aligner und Stepper sind maskenbasiert, weshalb neben den genannten Einschränkungen ein signifikanter, durch die Verwendung von Masken bedingter zusätzlicher Kostenfaktor beim gesamten Strukturierungsprozess hinzukommt. Eine Lösung, um die Kosten für Masken zu eliminieren, ist das Laser Direct Imaging zur sequenziellen Belichtung kleiner, geometrischer Elemente durch einen oder mehrere Laserstrahlen. Hierbei kommen zwar die Vorteile des Direct Imagings zum Tragen, allerdings

Tabelle 1. Eigenschaften verschiedener Exposure-Verfahren

Exposure method	Proximity Mask Aligner	BEOL Projection Stepper	MLE™ Maskless Exposure Technology	Laser Direct Imaging
				
Exposure field size	Full field	Reticle Size limited (up to 50 mm x 25 mm)	Clustered Write Heads	Individual Laser Spots
Exposure wavelength	Broadband (g, h, i-line)	i-line/ Broadband	Multiple - Wavelength Exposure Optics	Single Wavelength
Resolution L/S	> 3 µm	> 1.5 µm	< 2 µm	Objective dependent down to 600 nm at very restricted throughput

Bilder: EVG

© MIKROvent GmbH, Mainburg – www.mikroproduktion.com – nicht zur Verwendung in Intranet- und Internetangeboten sowie elektronischen Verteilern

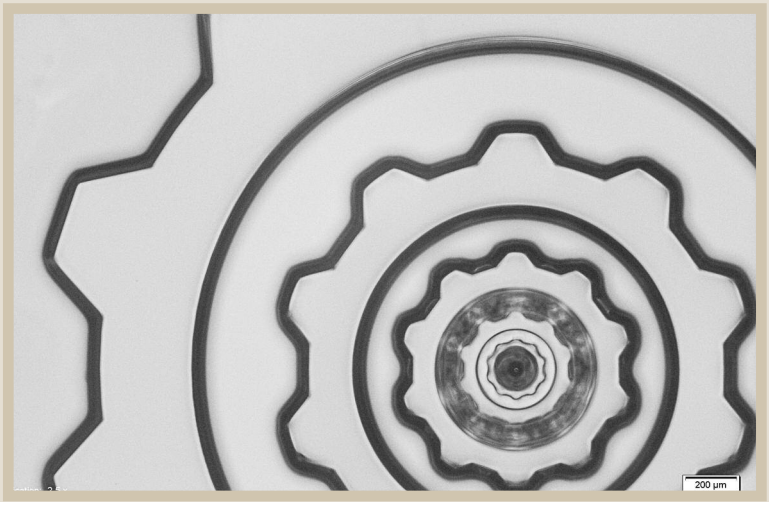


Bild 4. Maskless Exposure in 600 µm dickem SU8

entstehen durch die sequenzielle Strukturierung beachtliche Kosten bei niedrigem Durchsatz.

Mittels MLE wird beim Exposure-Prozess ein breiter Streifen (oder auch mehrere parallel) überflogen, wobei eine hochintegrierte, geclusterte Schreibkopf-Konfiguration verwendet wird. Dabei sind alle Wafergrößen bis hin zu Panels nutzbar. Dank einer UV-Quelle mit verschiedenen Wellenlängen und hoher Energie werden alle kommerziell erhältlichen Resists unterstützt. Der Durchsatz ist unabhängig von der Komplexität und Auflösung des Layouts, und die MLE-Technologie erreicht die gleiche Strukturierungsleistung mit beliebigen Fotoresist-Materialien.

Neue Lithografie-Ansätze

Der MLE-Prozess ermöglicht die naht- und maskenlose Belichtung der gesamten Substratoberfläche mit hoher Auflösung von weniger als 2 µm (L/S) bei gleichzeitig hohem Durchsatz und niedrigen Gesamtkosten. Das System ist entsprechend den Nutzeranforderungen durch die Hinzu- oder Wegnahme von UV-Exposure-Köpfen skalierbar, um so den schnellen Übergang vom Forschungs- und Entwicklungsstadium in die Hochvolumenfertigung zu erleichtern, den Durchsatz zu optimieren und/oder die Anpassung an unterschiedliche Substratgrößen und -materialien zu ermöglichen. Zudem ist das System für die Bearbeitung einer Reihe unterschiedlicher Substrate geeignet, von kleinen Silizium- oder Verbundhalbleiterwafern bis zu größeren Panels. MLE erzielt bei der Strukturierung dank einer flexiblen und skalierbaren Hochleistungs-UV-Laserquelle mit mehreren Optionen bezüglich der Exposure-Wellenlänge unabhängig von den verwendeten Fotoresists stets die gleichen Leistungsdaten.

Vergleich von Flexibilität, Skalierbarkeit und Kosten

Die MLE-Technologie eliminiert das Dilemma ständig wachsender Kosten für die Herstellung und das Bestandsmanagement der Fotomasken für verschiedene Chip-Designs. Darüber hinaus wird in der Back-End-Lithografie gefordert, den negativen Einfluss der Vielfalt unterschiedlicher Strukturierungsaufgaben auf die Zeitspanne bis zur Marktreife eines Produkts zu reduzieren. Mit der MLE-Technologie wird ein skalierbarer Ansatz verfolgt, der die Strukturierung von Substraten aller Art sowie verschiedenster Wafergrößen bis zu Panels erlaubt. Bei der bereits für Demozwecke vorführbereiten Technologie kommen geclusterte Laserquellen zum Einsatz, die verschiedene Wellenlängen unterstützen und mit 375 und/oder 405 nm arbeiten **(Bild 2)**. Dadurch wird die Strukturierung von dünnen Resists, einschließlich positiver und negativer Fotolacke, Polyimide, Dry-Film-Resists und PCBs, ebenso wie die Belichtung dicker Resists ermöglicht **(Bilder 3 und 4)**.

Aktuell verfügbare, maskenbasierte Technologien sind auch mit Herausforderungen bei der Prozessierung stärker deformierter Substrate konfrontiert, da sie daraus resultierende Verzerrungen nur begrenzt beherrschen können. Im Gegensatz dazu kann sich MLE an stark beanspruchte, gebogene oder verzogene Substrate anpassen. Zugleich lassen sich aus der mechanischen Platzierung der Dies beziehungsweise Chips resultierende oder durch Materialbeanspruchung ausgelöste Ungenauigkeiten aktiv kompensieren, beispielsweise durch Rotation, Verschiebungen, Ausdehnung und größere Verzerrungen. Parallel dazu erlaubt MLE die simultane digitale beziehungsweise binäre Strukturierung des Layouts auf Wafer- und Die-Ebene. Zusätzlich ermöglicht die programmierbare Modulation der UV-Dosis während des Strukturierungsprozesses die Veränderung der Resistdicke nach dem Entwicklungs-Prozessschritt. Dieses außergewöhnliche Feature ermöglicht die Herstellung komplexer, mehrstufiger 3D-Resiststrukturen für zukünftige MEMS- und neuartige Photonik-Devices sowie refraktive oder diffraktive mikrooptische Elemente. ■

MI110633

AUTOREN

BOZENA MATUSKOVA ist Business Development Manager
Dr. THOMAS UHRMANN ist Business Development Director bei der EV Group.

© MIKROvent GmbH, Mainburg – www.mikroproduktion.com – nicht zur Verwendung in Intranet- und Internetangeboten sowie elektronischen Verteilern