

Konzept eines Rotationsaligners

Wolfgang Hausherr
Institut für Allgemeine Elektrotechnik und Elektronik, TU Wien,
1040 Wien

Die photolithographische Übertragung großflächiger Strukturen war bislang nur mit Kontakt- oder Proximity-Verfahren möglich, weil Projektionsverfahren wegen des großen erforderlichen Bildfeldes und/oder wegen des hohen Justieraufwandes ausfallen. Kontakt- oder Proximity-Übertragung stellt aber hohe Anforderungen an die Planarität von Maske und Substrat, was die Verwendung preisgünstiger Substrate ausschließt. In diesem Beitrag soll ein Projektionsverfahren vorgestellt werden, bei dem die gesamte Struktur unter Verwendung eines optischen Systems mit relativ kleinem Bildfeld abgerastert wird.

1. Einleitung

Strukturübertragung auf große Substrate, wie sie für große flache Bildschirme notwendig sind, ist das Ziel dieses Projekts. Dieser Anwendungsbereich erfordert weniger hohe Auflösung und kleine Linienbreiten, jedoch enorm große Bildfelder. Für einen Verwendungszweck wie die Herstellung von großen flachen Bildschirmen existiert derzeit noch kein Übertragungsverfahren, das befriedigende Ergebnisse liefert.

2. Pflichtenheft

- Für den ersten Prototyp ist eine Substratfläche von 250 x 250 mm² innerhalb 5 Minuten zu belichten. Die Bildfeldgröße ist dabei auf 4 mm Durchmesser beschränkt.
- Als Maske dient eine 1:1 Chromstruktur auf Glas.
- Die Struktur der Maske ist auf eine Linienbreite von 3 µm begrenzt.
- Abbildungen sollen auf Glas, Silizium, Keramik und auch auf anderen Substraten möglich sein.

Es sollen die Unebenheiten und Wellen der Glasoberfläche von einem geeigneten Regelsystem so ausgegletzt werden, daß eine problemlose und verzerrungsfreie Strukturübertragung möglich ist.

3. Prinzipieller Aufbau des Rotationsaligners

- Das Funktionsprinzip des Rotationsaligners ist ähnlich dem eines Wafer-Steppers.
- Beim Rotationsaligner sind Substrat und Maske gleich groß, es muß also nur die Lichtquelle und die Übertragungsoptik bewegt werden.
- Zwischen Substrat und Maske ist eine 1:1-Übertragungsoptik eingefügt, um Nachteile, wie sie bei Proximity-Belichtung entstehen, zu vermeiden. Bei Proximity-Belichtung lassen sich Substratunebenheiten nicht ausgleichen.

- Die Übertragungsoptik muß synchron mit der Lichtquelle relativ zur Maske bzw. zum Substrat bewegt werden, da sonst nur Strukturen mit den Abmessungen eines Bildfeldes übertragbar wären.
- Maske und Substrat werden stehend plaziert, um damit ein Durchhängen zu umgehen. Die Rotation der Übertragungsoptik wird daher in einer vertikalen Ebene erfolgen.

Wird statt einer schrittweisen Belichtung — wie beim Stepper — eine kontinuierlich ablaufende Belichtung des gesamten Substrats vorgenommen, so wird kostbare Positionierzeit für Lichtquelle, Maske und Substrat eingespart. Zusätzlich ist eine kontinuierliche Korrektur des Abstandes zwischen Substrat und Maske erforderlich. Berücksichtigt man noch die zwischen Maske und Substrat eingefügte Übertragungsoptik, so muß auch eine Korrektur der Abstände zwischen ihr und dem Substrat bzw. der Maske erfolgen.

Da eine harmonische Kreisbewegung technisch leicht realisierbar ist, bietet sich für das Ausleuchten der Substratfläche eine kreisbogenförmige Belichtung an. Sie ermöglicht mit der Kombination einer gleichförmigen Translationsbewegung des Bildfeldes bezüglich der zu belichtenden Fläche die Übertragung der gesamten Struktur der Maske auf das Substrat. Das heißt, daß die Übertragungsoptik und die Lichtquelle auf einem Rotor kreisen, während Maske und Substrat auf einem Schlitten geradlinig, parallel zur Rotationsebene, bewegt werden.

4. Abstandsmessung zu Maske und Substrat.

Ein Laser strahlt schräg auf die zu messende Fläche. Das reflektierte Licht wird von einem lichtempfindlichen Positionsdetektor ausgewertet. Diese Technik scheint am besten geeignet zu sein, in unserem speziellen Fall den Abstand zwischen Übertragungsoptik und Substrat bzw. Maske zu messen.

Ein Problem bildet die Reflexion an der Rückseite des Glassubstrats. Vom schräg einfallenden Licht werden zwar ca. 20% an der Oberfläche reflektiert, jedoch verfälschen die ca. 12%, die von der Rückseite des Glassubstrats reflektiert werden, die Messung. Der Positionsdetektor mittelt das gesamte auf seine Meßfläche auftreffende Licht.

4.1. Flüssigkeitsbad hinter dem Glassubstrat

In den Raum hinter dem Glassubstrat wird eine Flüssigkeit gefüllt, die den gleichen Brechungsindex wie das Glassubstrat selbst aufweist. Die Rückseite des Behälters, in den die Flüssigkeit gefüllt wird, darf allerdings das Licht für die Messung nicht reflektieren. Setzt man die Flüssigkeit unter Druck, so kann man großflächige Deformationen des Glassubstrats ausgleichen. Die Flüssigkeit muß unter konstantem Druck gehalten und nach Ende des Fertigungsprozesses wieder abgesaugt werden.

Nachteil dieser Methode ist, daß die gesamte Anordnung dadurch eine höhere Masse aufweist. Die Nachregelung der Positionen von Substrat und Maske wird dadurch problematischer, weil größere Massen bewegt werden müssen. Das heißt, die Regelstrecke bekommt langsamere Pole. Dieser Nachteil soll aber durch getrennte Regelung der schnellen und der langsamen Pole kompensiert werden.

4.2. Lichtempfindlicher Positionsdetektor

Der Detektor wird wie eine Solarzelle betrieben, deren Ausgangsströme die Position des einfallenden Lichts wiedergeben.

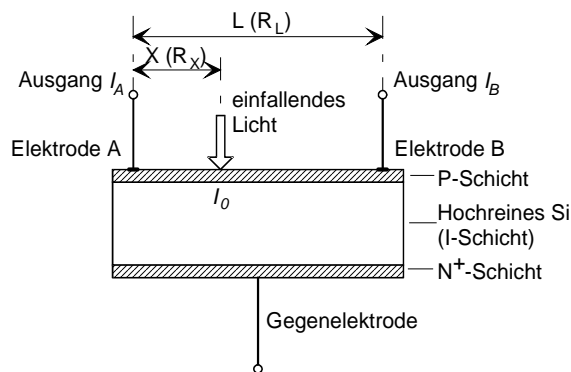


Abb. 1: Aufbau eines *Photo Sensitive Devices* (PSD)

Um bei der vorgesehenen Gleichlichtmessung ein optimales Signal-Rauschverhältnis zu bekommen, wurde der Laserstrahl auf das PSD fokussiert, dessen Wellenlänge im empfindlichsten Bereich des PSDs liegt und im Fokus eine Leistungsdichte aufweist, die sehr groß gegenüber der Umgebungslicht-Leistungsdichte ist. Die Berechnungen des Signal-Rauschabstandes des Meßaufbaus für Gleichlicht ergaben 175 nm für den kleinsten meßbaren Bereich. Ein genügend großer Signal-Rauschabstand ist für eine Wegänderung von 3 μm sichergestellt.

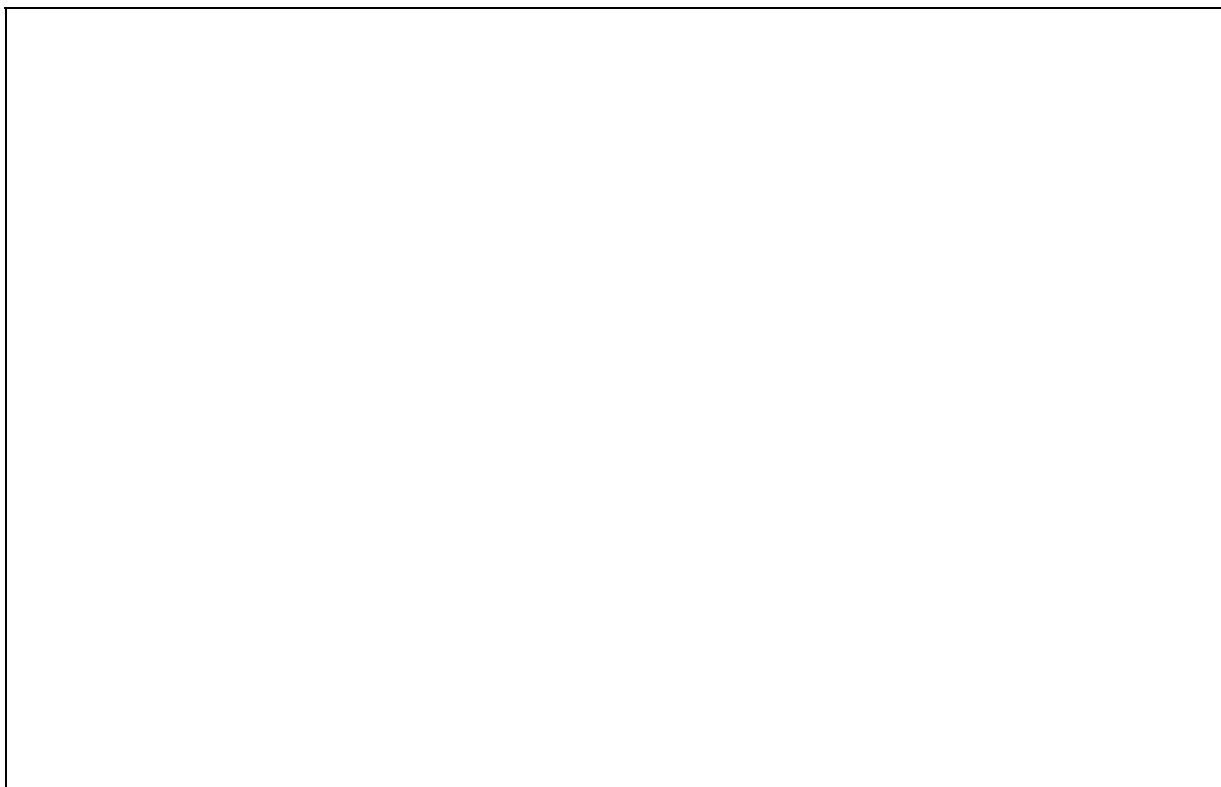


Abb. 2: Maske, Übertragungsoptik, und Substrat

Das Umgebungslicht kann durch eine Abdeckung der gesamten Anordnung als Einflußgröße eliminiert werden, nur das UV-Licht, das für die Belichtung verwendet wird, läßt sich auf diese Weise nicht abschirmen.

5. Meßaufbau Meßkopf

Um die Position einer Ebene einwandfrei bestimmen zu können, benötigt man genau drei linear unabhängige Meßwerte. Diese Meßwerte sollen durch zwei zweidimensionale PSDs geliefert werden. Da jedoch zwei zweidimensionale PSDs vier Meßwerte liefern, kann ein Meßwert, der linear abhängig ist, als zusätzliche Redundanz verwendet werden, um Fehler der Meßwerterfassung anzuzeigen.

Ein zweidimensionales PSD dieser Anordnung liefert über die x-Achsenelektroden ein Signal, das von einer Parallelverschiebung der Ebene oder einer Verkippung hervorgerufen wird. Über die y-Achsenelektroden kommt nur ein Signal, das von einer Verkippung der Ebene über die andere Achse hervorgerufen wird, wobei die x- und y-Achse aufeinander senkrecht stehen.

In einem Meßkopf sind zwei PSDs plaziert und ihnen gegenüber zwei Laserdioden. Jeder Laserstrahl spannt zusammen mit seinem reflektierten Strahl eine Strahlebene auf. Um Signale zu erhalten, die eine reine Parallelverschiebung wiedergeben, muß das Elektrodensignal um den Anteil, der einer Verkippung entspricht, verringert werden.

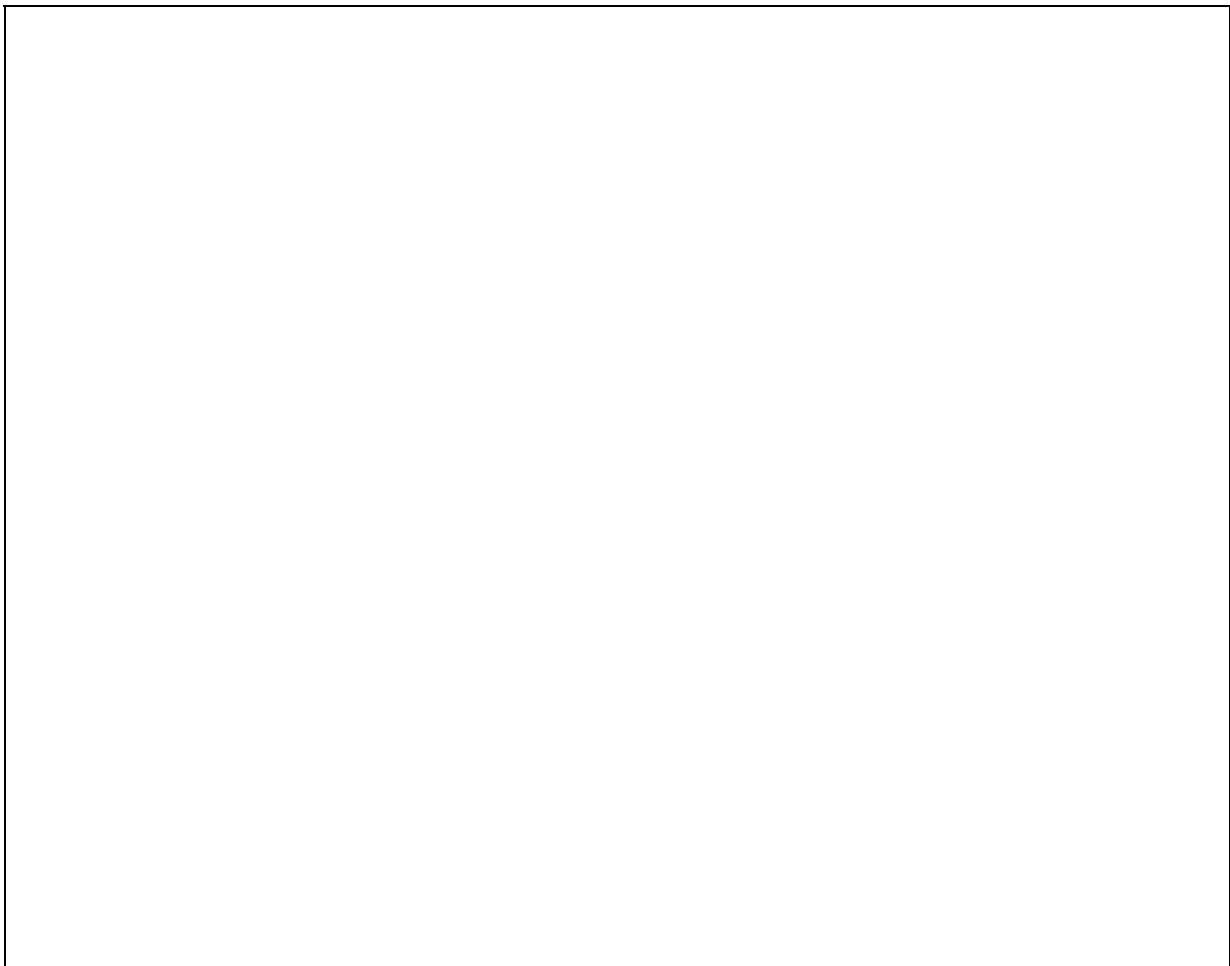


Abb. 3: Aufbau von Projektionsoptik und Meßköpfen

6. Interpolation

Probleme können entstehen, wenn der Laserstrahl auf eine Struktur trifft, die sich auf der Oberfläche der zu messenden Ebene befindet. Trifft das Interferenzmuster nicht symmetrisch

auf das PSD, wird sogar die Messung falsch. Das fehlende Stück in der Meßwertaufzeichnung wird durch Extrapolieren der vorigen Meßwerte erreicht. Die Verkippung der Meßebene in Bewegungsrichtung und die Periodizität der Meßsignale, die von einer Lagerungenauigkeit herrührt, dienen einem Prediktor als Eingangsgröße zur "Vorhersage" der Meßsignale. Die Daten des Meßwertspeichers werden bei jedem Durchlauf aktualisiert.

7. Meßwertverarbeitung

Das weiße Rauschen der Widerstände und das farbige Rauschen der PSDs lassen sich durch einfache Tiefpaßfilter gut herausfiltern. Wenn Einstreuungen, Brummsignale und Rauschen nicht in allen Stromkreisen konstant sind, können sie nicht durch Differenzbildung eliminiert werden. Die Wechselanteile der Elektrodenmeßsignale sind, im Gegensatz zu den Störsignalen, gegenphasig und lassen daher eine Signalrestauration zu.

8. Meßwertübertragung

Bei der Übertragung des digitalen Meßwertes vom rotierenden Sensor auf das ruhende Stellglied liegt die Schwierigkeit in der Transmission des Meßwertes, die schnell und zuverlässig genug sein muß, um eine Ausregelung von Sollwertabweichungen zu ermöglichen. Eine Übertragung mittels Infrarotübertrager oder Funkübertrager ist die einzige brauchbare Methode, um die Meßwerte auf den ruhenden Teil des Rotationsaligners zu senden.

9. Belichtungszeit

Werden vier Projektionsoptiken, die sternförmig angeordnet sind, verwendet, so ist immer eine Projektionsoptik zur Strukturübertragung im Einsatz. Mit einer vierfachen Projektionsoptik und einer Lichtleistung von 50 W/cm² kann ein Substrat von einer Größe 500 x 500 mm² innerhalb von 45 Sekunden belichtet werden.

10. Masken- und Substrathalterung

Die Halterung für die Maske und das Substrat wird in drei Punkten gelagert und mit Mikrometerschrauben verbunden, die das Stellglied für die Regelung darstellen. Die Mikrometerschrauben werden über Schrittmotoren, die auf einem Schlitten montiert sind, verstellt. Die Schrittmotoren und die Lagerhalterung für die Ansaugvorrichtung sind auf dem Schlitten montiert, der die Linearbewegung durchführt.

11. Strahlengang

Um das UV-Licht rechtwinkelig auf die Maske aufzutreffen und mit der Übertragungsoptik synchron mitlaufen zu lassen, wird ein zweiter Rotor verwendet, der das Licht durch Umlenkspiegel richtig auf die Maske aufreffen läßt. Das Licht der UV-Quelle wird axial auf den Mittelpunkt des Umlenkrotors gerichtet, dort umgelenkt und tritt achsenparallel beim gewünschten Radius aus dem Rotor aus.

Das axial austretende UV-Licht fällt auf die Maske und überträgt die Struktur der Maske über die Übertragungsoptik auf das Substrat. Der Umlenkrotor wird starr mit dem Rotor, auf dem die Übertragungsoptik fixiert ist, verbunden, damit der synchrone Umlauf gewährleistet ist und die rechtwinkelige Bestrahlung der Maske sichergestellt werden kann.

12. Zusammenfassung

Der Anwendungsbereich des Rotationsaligners soll so weit wie möglich offen gehalten und seinen Einsatz unabhängig von technischen und ökonomischen Trends für viele Bereiche der Photolithographie erlauben. Es soll vor allem möglich sein, aktive Fernsehbildschirme zu erzeugen, die flach wie Fensterglas sind und sich an das derzeit in Verwendung befindliche System der Röhrenbildschirme anpassen lassen. Es soll der Einsatz von beliebig welligen Glassorten für das Substrat gewährleistet sein, um bei großflächigen Substraten den Produktionsaufwand in Grenzen zu halten. Das im Rahmen dieses Beitrags vorgestellte Regelsystem erlaubt es, die Unebenheiten und Wellen der Glasoberfläche so auszuregeln, daß eine problemlose und verzerrungsfreie Strukturübertragung möglich ist.