

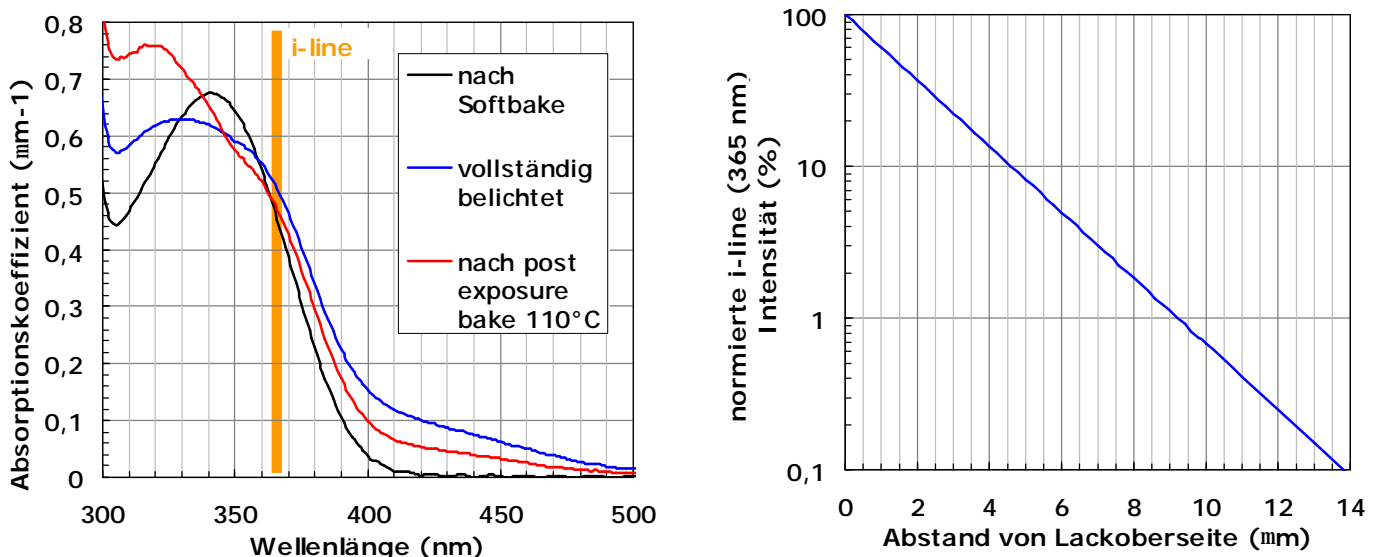
n Grundsätzliches

AZ[®] nLOF 20xx kennzeichnet eine Familie an **Negativlacken**, d.h. belichtete Bereiche bleiben nach dem Entwickeln mit einem mehr oder weniger stark ausgeprägten Unterschnitt (negativem Profil) bestehen. Diese Eigenschaft zusammen mit seiner hohen Beständigkeit gegen thermisches Verfließen macht AZ[®] nLOF 20xx zu einem geeigneten Fotolack für Lift-off sowie generell für alle Prozesse, bei denen das Lackprofil auch bei hohen bis sehr hohen Temperaturen stabil bleiben muss. Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu herkömmlichen AZ Fotolacken werden anhand der folgenden Prozessschritte dargestellt:

- § Die durch **Aufschleudern** bei 3000 U/min erzielte Lackschichtdicke entspricht den letzten beiden Ziffern (z.B. 70 beim AZ[®] nLOF 2070) in 100 nm Einheit (also ca. 7 µm beim AZ[®] nLOF 2070).
- § Als **Softbake** empfiehlt sich 100°C Hotplate für ca. 1 Minute je µm Lackschichtdicke.
- § Eine **Rehydrierung** (Wartezeit zur H₂O-Aufnahme ist NICHT erforderlich).
- § Die im Datenblatt angegebene **Belichtungsdosis** kennzeichnet ausschließlich den i-line (365 nm) Anteil des Belichters. Es sollte daher bekannt sein, wie groß diese ist bzw. ob sich gemessene Werte auf i-line oder z.B. die integrale Emission bei g-, h- und i-line beziehen.
- § Der nach der Belichtung auf einer Hotplate bei 110°C für ca. 1 Minute durchgeführte **Backschritt** (*post exposure bake*) ist NICHT optional, sondern notwendige Voraussetzung für die Quervernetzung belichteten Fotolacks. Eine **Wartezeit** zwischen Belichtung und diesem Backschritt ist NICHT erforderlich, da beim Belichten von AZ[®] nLOF 20xx kein Stickstoff frei wird, der ausgasen müsste.
- § Als **Entwickler** empfiehlt sich AZ[®] 826mif. Bei anderen Entwicklern kann eine (unbeabsichtigt optisch oder thermisch induzierte) teilweise quervernetzte Lackoberfläche den Entwicklungsstart verhindern.

n Optische Eigenschaften

AZ[®] nLOF 20xx besitzt nach dem Softbake einen i-line (365 nm) Absorptionskoeffizienten von ca. 0.5 µm⁻¹ (Abb. unten links). Im Gegensatz zu AZ[®] Positivlacken ändert sich dieser Wert jedoch NICHT mit der Belichtungsdosis, d.h. AZ[®] nLOF bleicht nicht. Damit sind der Durchbelichtung dicker Lackschichten Grenzen gesetzt: Wie Abb. unten rechts zeigt, liegt die 365 nm Lichtintensität nach 10 µm Lackschichtdicke bereits unter 1% der einfallenden Leistung, was auch bei langen Belichtungszeiten für eine ausreichende Quervernetzung nicht ausreicht. Da Negativlacke jedoch eine Durchbelichtung nicht zwingend erfordern, ist eine Prozessierung von 10-20 µm dicken Lackschichten prinzipiell möglich.



Nach dem Belichten steigt die Absorption sowohl bei sehr kurzen (<330 nm) als auch im kurzwelligen sichtbaren Spektralbereich. Letzteres ist der Grund für die nach dem Belichten auf transparenten Substraten erkennbare gelbliche Färbung der Lackschicht. Ebenfalls beobachtet werden kann ein Hervortreten der belichteten Strukturen nach dem post exposure bake. Hierbei verdunstet aus den nicht belichteten Bereichen Restlösemittel, während in den belichteten Bereichen durch die Quervernetzung der Lackmatrix diese Verdunstung unterdrückt ist.

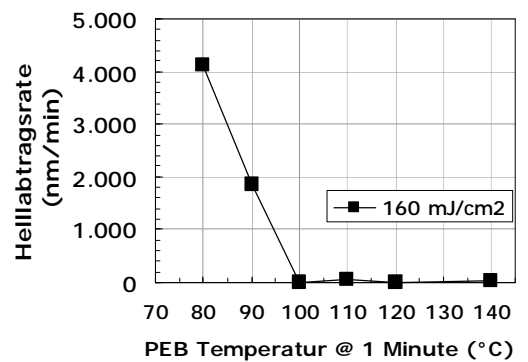
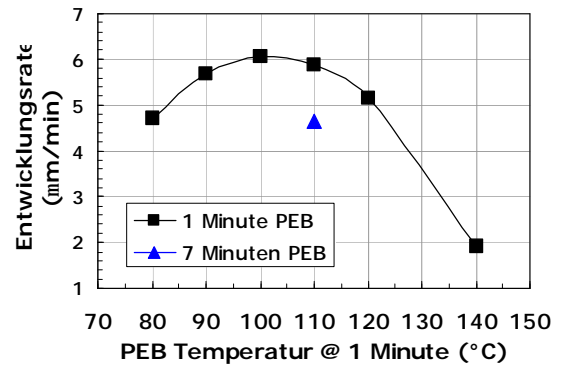
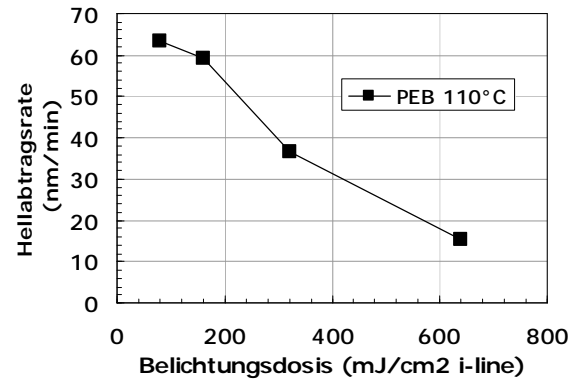
n Hellabtrag und Entwicklungsrate

Bei einem ausreichenden post exposure bake von z.B. 110°C für eine Minute ist der für die Quervernetzung limitierende Parameter die **Belichtungsdosis**. Wie Abb. rechts oben zeigt, sinkt der Hellabtrag (entsprechend dem Dunkelabtrag bei Positivlacken) im Entwickler (in diesem Beispiel AZ[®] 726mif) mit der Belichtungsdosis. Es ist jedoch zu beachten, dass zu hohe Belichtungsdosen über Lichtstreuung im Lack bzw. zwischen Lack und Maske die Auflösung verringern, so dass die in den Datenblättern empfohlenen Lichtdosen als Richtwert für eine individuelle Prozessoptimierung herangezogen werden sollten.

Die **Entwicklungsrate** (Abb. rechts Mitte) zeigt ein Maximum bei der im Datenblatt empfohlenen Parameter für den post exposure bake (PEB) von 110°C für 1 Minute.

Wie entscheidend diese Temperatur für die Quervernetzung des Fotolacks ist zeigt Abb. rechts unten: Unterhalb von 100°C steigt der Hellabtrag im Entwickler sehr stark an und erreicht der Entwicklungsrate vergleichbare Werte, so dass der Kontrast des Fotolacks verschwindet. Aus Gründen eines stabilen Prozessfensters sollte sich an den empfohlenen 110°C auf einer Hotplate orientiert werden. Bei Ofenprozessen ist zu berücksichtigen, dass die Einstellung der gewünschten Temperatur sowie die Erwärmung der belackten Substrate einige Zeit dauern kann, so dass hier u.U. die Zeit und/oder Temperatur für den post exposure bake nach oben korrigiert werden muss.

Im Gegensatz zum Softbake hängt die optimale Temperatur und Dauer des post exposure bake nicht unmittelbar von der Lackschichtdicke ab. Trotzdem verdunstet hierbei – abhängig von der Lackschichtdicke – ein Teil des Restlösemittels. Damit sinkt die Lackschichtdicke, was für evtl. vorgenommene Messungen des Hellabtrags/der Entwicklungsdauer berücksichtigt werden muss



n Einstellung des Unterschnitts

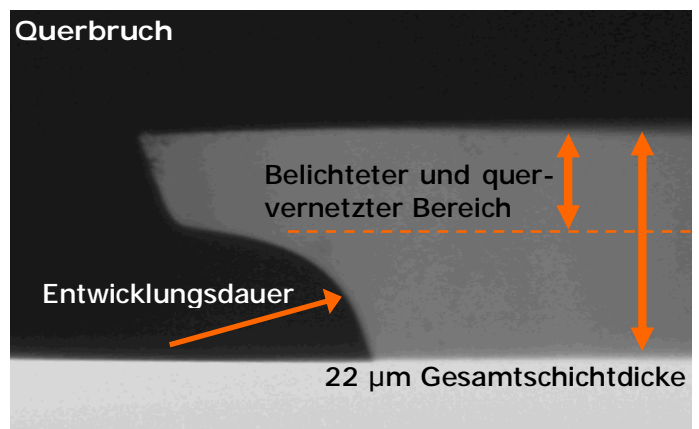
Die **Belichtungsdosis** bestimmt die Tiefe in die Lackschicht, bis zu der der nachfolgende post exposure bake (PEB) die Lackmatrix quervernetzen und damit im Entwickler unlöslich kann. Da AZ[®] nLOF 20xx beim Belichten nicht bleicht, ist die mögliche Eindringtiefe beim Belichten stark begrenzt und kann nur über - verglichen mit AZ[®] Positivlacken – überproportional höhere Belichtungsdosen vergrößert werden.

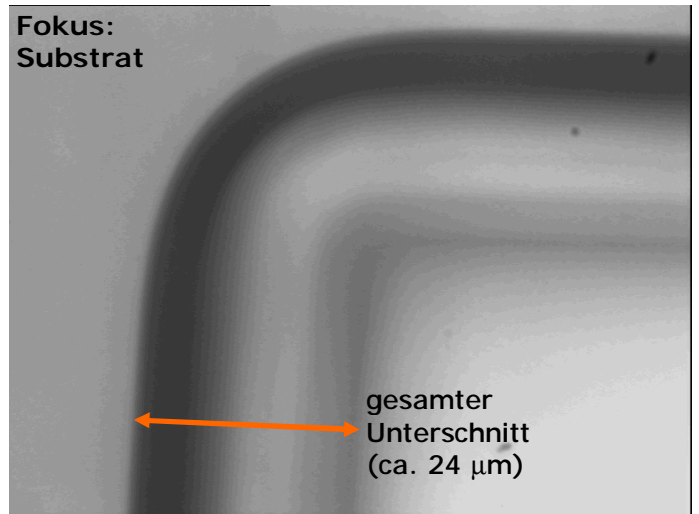
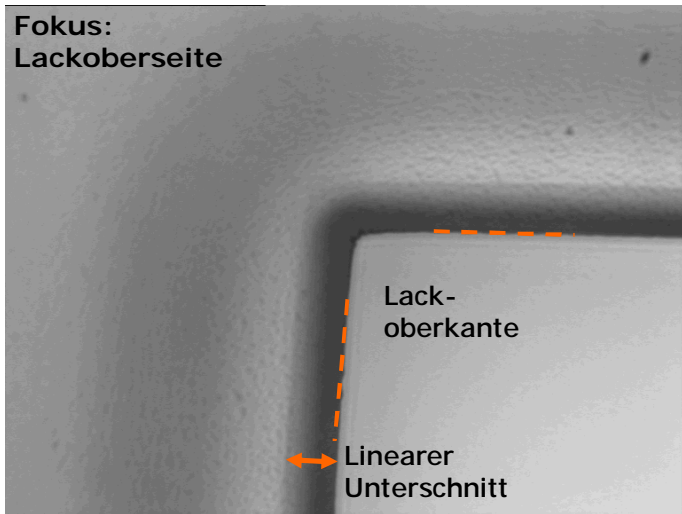
Temperatur und Dauer des PEB variieren das Tiefenprofil der Quervernetzung. Aus Gründen eines hohen Kontrastes empfiehlt sich jedoch für diesen Schritt 110°C für 1 Minute.

Sind die Strukturen frei entwickelt, definiert die Dauer der **Überentwicklung**, wie weit unter der quervernetzten Lackschicht ein progressiver Unterschnitt herausentwickelt wird. Diese Einstellung ist jedoch nur möglich, wenn durch die Belichtung nicht die gesamte Lackschicht quervernetzt wurde.

Abb. rechts: Von 22 µm Lackschichtdicke wurden Belichtung und PEB ca. 9 µm quervernetzt. In dieser Tiefe beträgt die i-line (365 nm) Intensität noch ca. 1% der auf die Lackschicht fallenden Dosis. Der Übergang im Profil vom linearen zum progressiven Unterschnitt ist deutlich zu sehen. Diese Grenze kann über die Belichtungsdosis in Grenzen variiert werden.

Abb. umseitig: Die hohe Transparenz von AZ[®] nLOF 20xx erlaubt eine Kontrolle des Unterschnitts in lichtmikroskopischen Aufsicht-Aufnahmen. Im linken Bild liegt der Fokus auf der Lackoberseite, im rechten Bild auf Höhe des Substrates.





n Parameterstudien zum Unterschnitt bei 17.9 µm Lackschichtdicke

Mit der Vorgabe ‚schneller Prozessierung‘ (Single-coating, kurze Wartezeiten) wurde über die Parameter Belichtungsdosis, post exposure bake Temperatur und Überentwicklung der Unterschnitt eingestellt:

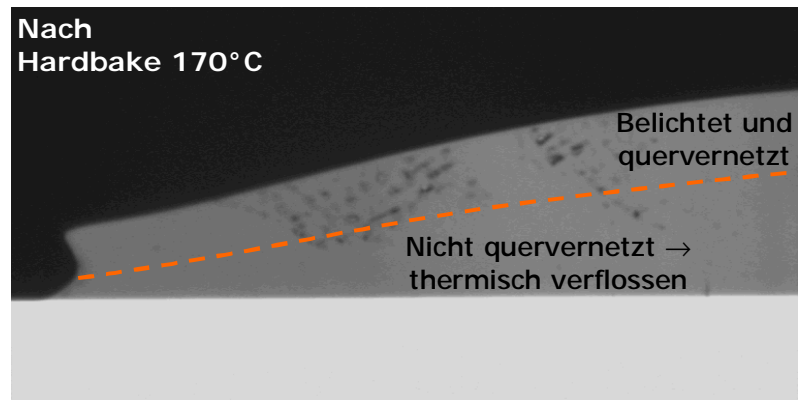
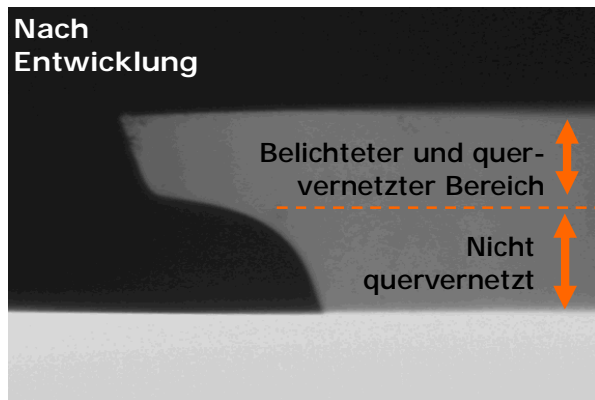
Belacken:	Rampe +3000 rpm/s, 3000 rpm für eine Sekunde, Rampe -3000 rpm/s
Wartezeit:	5 Minuten bei Raumtemperatur zu Glättung der Lackschicht
Erster Softbake:	30 Sekunden bei 100°C (Hotplate) zur Vortrocknung für Randentlackung
Randentlackung:	ca. 10 Sekunden bei 500 rpm mit AZ [®] ebr Solvent
Softbake:	10 Minuten bei 100°C (Hotplate)
Erzielte Schichtdicke:	17.9 µm

Belichtungs-dosis	500 mJ/cm ² i-line	500 mJ/cm ² i-line	1.000 mJ/cm ² i-line	1.000 mJ/cm ² i-line
PEB	110°C 2 Minuten	130°C 2 Minuten	110°C 2 Minuten	130°C 2 Minuten
Entwick-lung	4 min AZ [®] 826mif	7 min AZ [®] 826mif	4 min AZ [®] 826mif	9 min AZ [®] 826mif
Nach Freient-wicklung der Strukturen				
Mass-haltigkeit*	+3.2 µm (Oberkante)	+21 µm (Oberkante)	+11 µm (Oberkante)	+38 µm (Oberkante)
zusätzlich	2 min AZ [®] 826mif	4 min AZ [®] 826mif	2 min AZ [®] 826mif	5 min AZ [®] 826mif
Nach Überent-wicklung				
Mass-haltigkeit*	+1.1 µm (Oberkante)	+11 µm (Oberkante)	+2.8 µm (Oberkante)	+33 µm (Oberkante)
Strippen	ca. 1 Minute NMP 20°C	ca. 1 Minute NMP 20°C	ca. 10 Minuten NMP 20°C	ca. 10 Minuten NMP 20°C

*Halbe Differenz zwischen Breite der Lackstruktur nach dem Entwickeln und der Maskenöffnung

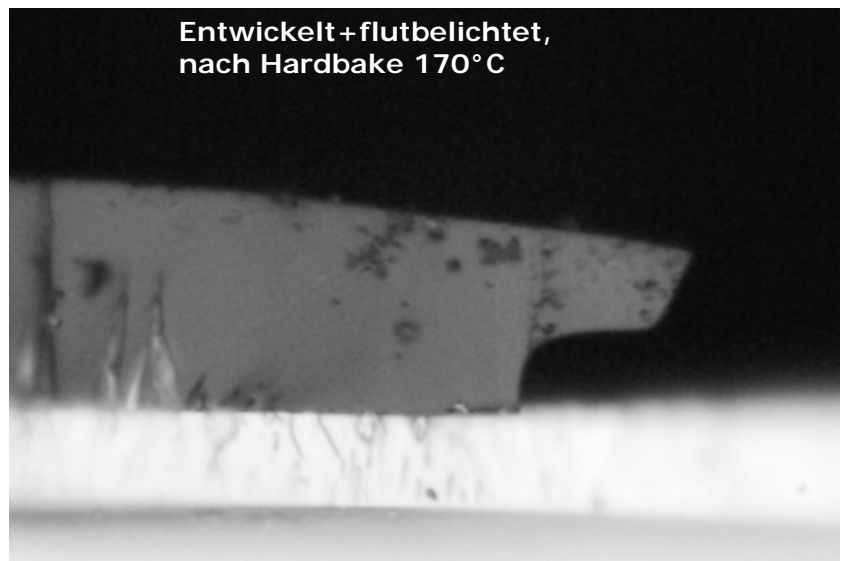
n Thermische Stabilität

Quervernetzte, d.h. belichtete und gebackene Lackbereiche von AZ® nLOF 20xx sind thermisch stabil, das Lackprofil verfließt auch bei $>200^{\circ}\text{C}$ nicht. Befindet sich – im Falle hoher Lackschichtdicken oder kurzen Belichtungszeiten – die quervernetzte Lackschicht jedoch auf einer noch nicht quervernetzten, kann deren Verfließen die gesamte Struktur verformen (Abb. unten, Lackschichtdicke = $22\ \mu\text{m}$).



Um in diesem Fall die Lackschicht gegenüber thermischem Verfließen zu stabilisieren könnte einerseits die Belichtungs-dosis erhöht werden. Bei großen Lackschichtdicken wären die hierfür notwendigen Dosen jedoch so groß, dass die laterale Auflösung abnimmt.

Eine für große Lackschichtdicken geeignetere Lösung ist es, die entwickelte Lackschicht einer Flutbelichtung (ohne Maske) mit anschließendem post exposure bake bei 110°C für 1 Minute zu unterziehen. Wie die Abb. rechts zeigt, quervernetzen damit durch Mehrfachstreuung auch die Lackflanken ausreichend, um bei einem anschließenden Hardbake eine nur geringfügige Verformung aufzuweisen, welche für z.B. Lift-off noch vollkommen ausreicht.

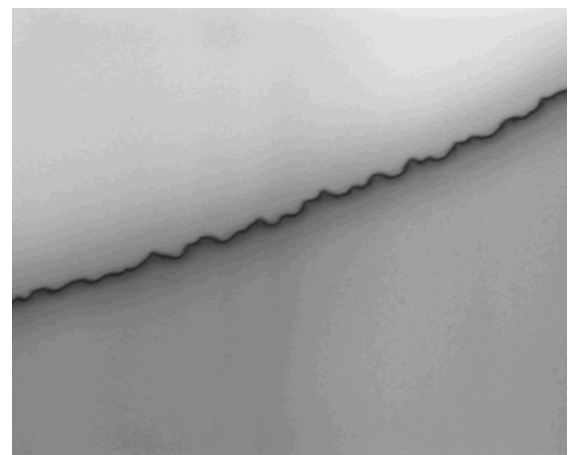
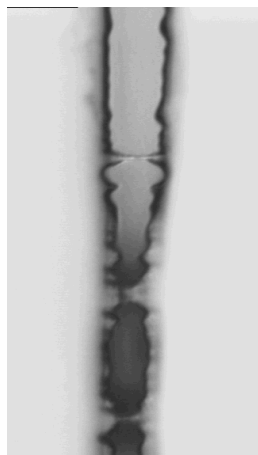


Als i-line Dosis für die Flutbelichtung empfiehlt sich ca. $1\ \text{J}/\text{cm}^2$, was bei typischen Maskalignern mit 350W Hg-Lichtquelle einer Belichtungsdauer von ca. 2 Minuten entspricht.

n ‚Mouse-bites‘ in entwickelten Strukturen

Zeigen entwickelte Lackschichten unregelmäßigkeiten im μm -Bereich (Zacken, ‚mouse-bites‘, beide Abb. rechts), liegt dies in den meisten Fällen an Lichtstreuung zwischen Maskenunterseite und Fotolackschicht. Die dadurch erzeugten Inhomogenitäten in der Belichtungs-dosis übertragen sich in die entwickelten Lackstrukturen.

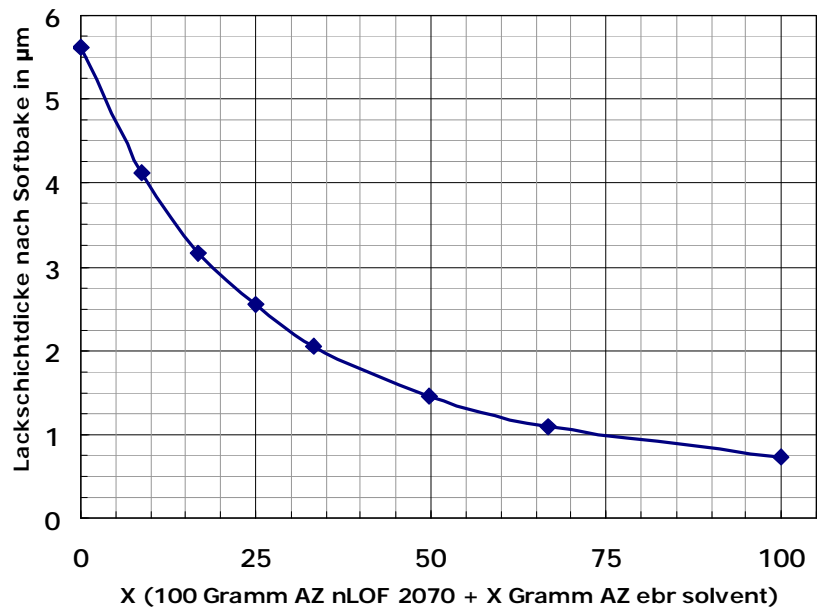
Deshalb ist unbedingt darauf zu achten, mittels Randentlackung, Partikel- und Blasenfreiheit der Lackschicht einen engen Kontakt der Maske zu gewährleisten.



n Variation der Lackschichtdicke

Eine *Spincurve* (d.h. die in Abhängigkeit der Schleuderdrehzahl erzielte Lackschichtdicke nach dem Soft-bake) findet sich im technischen Datenblatt des Herstellers Clariant.

Das Diagramm rechts zeigt die bei 4.000 U/min erzielte Lackschichtdicke in Abhängigkeit unterschiedlicher Verdünnungsgrade des AZ[®] nLOF 2070 mit PGMEA (=AZ[®] ebr solvent). Als Softbakeparameter wurden 100°C Kontakthotplate für 5 Minuten gewählt. Die Werte der X-Achse kennzeichnen die Menge an AZ[®] ebr solvent in Gramm, welche zu jeweils 100 Gramm AZ[®] nLOF 2070 zugegeben werden müssen.



n Löslichkeit / Strippen der Lackschicht

Quervernetzter AZ[®] nLOF ist in organischen Lösemitteln nur noch sehr eingeschränkt löslich. Das Entfernen der prozessierten Lackschicht entspricht daher weniger einem Auflösen, als vielmehr einem Abheben der gesamten Schicht vom Substrat mit geeigneten Medien.

Aceton löst *unbelichteten* AZ[®] nLOF, solange er Temperaturen von bis zu 170°C ausgesetzt wurde, relativ gut. Darüber bewirkt thermisches Quervernetzen der Lackschicht eine starke Abnahme der Löslichkeit. *Belichteter* und *quervernetzter* (PEB > 90°C) AZ[®] nLOF ist in Aceton unlöslich. Sind jedoch substratnahe Lackbereiche aufgrund der begrenzten Eindringtiefe von Licht beim Belichten noch nicht vollständig quervernetzt, kann Aceton dorthin diffundieren und die gesamte Lackschicht abheben.

AZ[®] 100 Remover ist ebenfalls zum Strippen prozessierter Fotolackschichten nur bedingt geeignet. Im Wesentlichen gilt hierfür das gleich wie oben für Aceton beschrieben.

NMP (N-Methylpyrrolidone) ist zum Entfernen der Fotolackschicht **sehr gut geeignet**. Selbst vollständig quervernetzte Schichten werden – je nach Temperatur des PEB bzw. eines folgenden Hardbake – innerhalb Sekunden (110°C PEB) bis Minuten (150°C Hardbake) vom Substrat geliftet.

Zur Verbesserung dieses Vorgangs empfiehlt es sich – falls prozesstechnisch möglich - über eine angepasste Belichtungsdosis die Lackschicht nicht komplett bis zum Substrat zu belichten (und damit beim folgenden PEB quervernetzen). Damit wird es Lösemitteln möglich, durch die oberen, quervernetzten Bereiche zu diffundieren, die substratnahe Lackschicht aufzulösen und die darüber liegende Schicht zu liften.

Falls beim Liften der gesamten Lackschicht bzw. Teilen davon diese punktuell auf dem Substrat hängen bleibt, empfiehlt es sich, das Strippen im Ultraschall durchzuführen.