

Bachelor MNT-3

Praktikumsskript

Lithographie

Prof. Dr. Monika Saumer

Assistentin

Verena Böttner

E-Mail: verena.boettner@hs-kl.de

Tel: 0631/3724 5347

Büro: L 138

Versuchsinhalte und Organisation

- **Versuchsteil 1:** Bestimmung des Kontrasts eines Positivresists
- **Versuchsteil 2:** Entwicklung und Charakterisierung von Resiststrukturen
- **Gruppeneinteilung** und **Termine** siehe Aushang; Treffpunkt: vor dem Reinraum (L152)

Voraussetzung zur Laborteilnahme

Jeder Studierende muss vorab an den **Sicherheitseinweisungen** teilnehmen:

1. **Allgemeine Sicherheitseinweisung**
2. **Tätigkeitsbezogene Sicherheitseinweisung**

Anwesenheit

Die Anwesenheit bei allen Laborversuchen ist verpflichtend. Wenn Sie an einem der Versuche aus zwingenden Gründen (z.B. Krankheit - hierbei ist eine Krankmeldung vorzulegen) nicht teilnehmen können, so benachrichtigen Sie bitte so früh wie möglich Frau Böttner und lassen sich einen Ersatztermin geben.

Kontakt: E-Mail: verena.boettner@hs-kl.de, Tel: 0631/3724 5347, Büro: L138

Antestat

Vor Versuchsteil 1 wird ein Antestat durchgeführt, d.h. den Gruppenteilnehmern werden Fragen zu dem Versuchsteil gestellt. Daher ist es zwingend erforderlich, sich anhand des Fragenkatalogs (siehe unten), der Versuchsvorschriften, des Vorlesungsskriptes und ggf. weiterführender Literatur vorab auf die Laborversuche vorzubereiten!

Nicht vorbereitete Studierende werden vom Labor ausgeschlossen!

Protokolle

Jede Gruppe muss ein computergeschriebenes Protokoll pro Versuchsteil verfassen und zur Bewertung abgeben.

Spätester Abgabezeitpunkt: Zwei Wochen nach jeweiligem Versuchsteilende. Wird das Protokoll nicht rechtzeitig abgegeben, so gilt das Labor als nicht bestanden.

Reichen Sie bitte alle Protokolle per E-Mail bei Frau Böttner ein.

Die Protokolle werden korrigiert und zur Verbesserung an Sie zurückgeschickt. Für die erste Berichtigung wird Ihnen **eine Woche** Zeit eingeräumt. Falls der Bericht den Anforderungen nicht entspricht wird Ihnen nach erneuter Korrektur eine zweite Frist von **drei Tagen** gewährt. Bei verspäteter Abgabe oder ungenügender Berichtigung gilt das Labor als nicht bestanden.

Erfolgreiche Laborteilnahme

Für die Laborversuche wird die erfolgreiche Teilnahme bestätigt, wenn die Studierenden:

- das Antestat bestanden haben,
- an allen Laborversuchen aktiv teilgenommen haben,
- die Protokolle angefertigt und rechtzeitig eingereicht haben und unten stehenden Anforderungen entsprechen.

Form und Inhalt der Protokolle:

Jeder Bericht muss formal mindestens folgende Anforderungen erfüllen:

1. Gliederung:

Deckblatt (Protokollführer/in, Matrikelnummer, Gruppe, Art und Datum des Versuchs)

Inhaltsverzeichnis (Angabe von Kapiteln inkl. Seitenzahlen)

Inhalt der tätigkeitsbezogenen Sicherheitseinweisung

Einleitung (Zielsetzung)

Theoretischer Hintergrund (siehe Punkt 4)

Materialien und Methoden (Auflistung der eingesetzten Materialien und Geräte; kurze Beschreibung des Versuchsaufbaus und Versuchsablaufs mit allen tatsächlich verwendeten Versuchsparametern, Chemikalien, etc. - Abweichungen zum Skript sind möglich!)

Ergebnisse und Diskussion inklusive Fehleranalyse (z.B.: Risse im Resist, Maßhaltigkeit nicht gegeben, Überbelichtung, Überentwicklung, etc.; vermeidbare Fehler) sowie **Fazit**

Literaturverzeichnis (Quellen nummerieren und Verweis im Fließtext)

2. Blocksatz, Präsens, Sachlichkeit (Vermeiden von Ausdrücken wie „man“, „nun“, „und dann, ...und dann“, „wir“ etc.)

3. Auf Rechtschreibung, Grammatik und Ausdruck achten
4. Die Beantwortung der Fragen aus den Versuchsvorschriften erfolgt knapp, vollständig und richtig an sinnvollen Stellen im Fließtext (nicht die Fragen abschreiben und dann beantworten) ggf. Lehrbücher benutzen, keine Abschrift oder Kopie der Versuchsvorschriften, keine Texte aus Internet oder Lehrbücher kopieren, verwendete Literatur zitieren
5. Nummerierung und zentrierte Darstellung von Gleichungen und Formeln (Formeleditor verwenden)
6. Alle Tabellen, Graphen und Abbildungen müssen aussagekräftig beschriftet (Achsen, Einheiten), skaliert und nummeriert sein (Verweis im Fließtext)
7. Bei Berechnungen ist immer der komplette Lösungsweg inkl. der Einheiten mitanzugeben
8. Einheitliche Textausrichtung, Textformatierung, Schriftart und Schriftgröße
9. keine handschriftlichen Ergänzungen
10. Angabe von Seitenzahlen, evtl. Kopf- und Fußzeile

Vorbereitung zur Laborveranstaltung (Antestat):

Bitte bereiten Sie sich auf folgende Fragen gründlich vor:

1. Welche Arten von Resisten kennen Sie? Unterscheiden Sie bzgl. Zusammensetzung und Funktion! Diskutieren Sie Eigenschaften, Vor- und Nachteile sowie mögliche Anwendungen!
2. Welche Belichtungsverfahren sind Ihnen bekannt? Nennen Sie Vor- und Nachteile!
3. Erklären Sie das Funktionsprinzip eines Mask Aligners! Was versteht man unter *wedge error compensation* (WEC)?
4. Erklären Sie den Begriff der Beugung im Zusammenhang mit der Qualität der Belichtung in verschiedenen Belichtungsmodi. Unterscheiden Sie zwischen Fresnel- und Fraunhofer-Beugung!
5. Was passiert chemisch gesehen bei der Belichtung und anschließenden Entwicklung eines Positivresists bzw. Negativresists?
6. Diskutieren Sie den Begriff des Dunkelabtrags!
7. Welche Aussagen leistet die Darstellung des Kontrastes eines Resists in einer Kontrastkurve?
8. Erklären Sie das Funktionsprinzip der Film Thickness Probe (FTP)!
9. Womit kann man die Auflösung eines Resists beeinflussen?

Versuchsteil 1

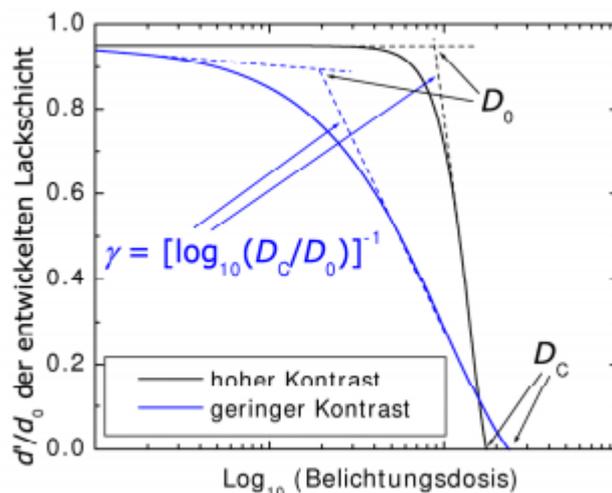
Bestimmung des Kontrasts eines Positivresists

Ziel des Versuchs:

Erstellen einer Kontrastkurve mit dem Resist AR-P 5910 (Verdünnung 100:40), Resistschichtdicke ca. 2000 nm.

Grundlagen:

Die Kontrastkurve eines Fotolacks (Abb. 1) trägt die nach dem Entwickeln verbliebene Lackschichtdicke, bezogen auf die ursprüngliche Schichtdicke d'/d_0 , als Funktion der (logarithmisch aufgetragenen) Belichtungs-dosis auf.



Quelle: www.microchemicals.de

Abbildung 1: Kontrastkurve zwei verschiedener Resiste.

Fotolacke mit hohem Kontrast weisen einen geringen Dunkelabtrag auf und entwickeln ab einer bestimmten Lichtdosis D_0 mit konstanter Rate, während bei $D < D_0$ Lackreste stehen bleiben: Beim Vergleich einer gegebenen Kontrastkurve und dem eigenen Prozess sind sämtliche Prozessparameter, welche sich auf die Entwicklungsrate und -zeit auswirken wie Lackschichtdicke, Softbake, Rehydrierung, Lufttemperatur, Entwickler etc. zu berücksichtigen. Realistische Kontrastkurven weisen ein $d'/d_0 < 1$ für eine Belichtungs-dosis = 0 (Dunkelabtrag) und einen endlichen logarithmischen

Abfall in $d'/d_0 \rightarrow 0$ über einen Bereich der Belichtungs-dosis bis D_C (dose to clear) auf. Die Steigung dieses Abfalls definiert den Kontrast.

Mit Hilfe von Formel (1) kann aus der Steigung der Tangente der Kontrast γ des Resists bestimmt werden.

$$\gamma = [\log_{10}(D_C/D_0)]^{-1} \quad (1)$$

Bei Positivresisten die einen hohen Kontrast haben ergeben sich eher Strukturen ähnlich Abbildung 2 links und bei Resisten mit niedrigen Kontrast eher Strukturen der Abbildung 2 rechts.

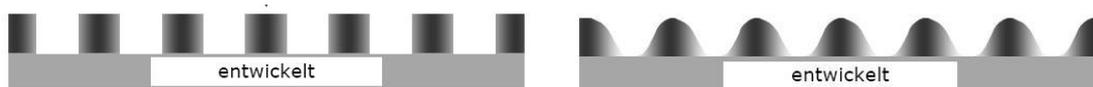


Abbildung 2: Vergleich der Strukturen bei einem Resist mit hohem Kontrast (links) und geringem Kontrast (rechts).

Die Kontrastkurve eines „perfekten“ Positivresists (Abb. 2 links) mit unendlich hohem Kontrast wäre eine Stufenfunktion (senkrechte Tangente $\rightarrow x(D_C) = x(D_0)$). Geeignete Methoden zur Kontrasterhöhung sind u.a. das Einsetzen eines selektiveren/verdünnten Entwicklers oder die Erhöhung der Softbake-Zeit.

Um sicherzustellen, dass alle Strukturen ausreichend belichtet werden, wird in der Praxis meist eine ca. 1,5-fach höhere Dosis im Vergleich zur dose-to-clear (aus der Kontrastkurve) verwendet (dose-to-print).

Versuchsdurchführung:

Als Substrat wird ein gereinigter Si-Wafer mit nativer Oxidschicht verwendet.

1.1 Prebake

Si-Wafer für 2 Minuten auf Hotplate Lanz bei 185°C zur Desorption von Wasser auf der Waferoberfläche ausheizen und anschließend 2 Minuten in Stickstoffumgebung abkühlen lassen.

1.2 Aufschleudern / Spin-on Haftvermittler

1 ml Haftvermittler (AR300-80) auf Si-Wafer mittels Einwegpipette auftragen und im Spincoater Lanz mit 7000 U/min schleudern. Lesen Sie die Rampe für den Spin-on Prozess im gewählten Programm ab.

1.3 Softbake Haftvermittler

Si-Wafer mit Haftvermittler für 2 Minuten auf Hotplate Lanz bei 185°C trocknen und 2 Minuten abkühlen lassen.

1.4 Aufschleudern / Spin-on Resist

3 ml Resist (AR-P 5910, Verdünnung 100:40) auf Si-Wafer mittels Einwegpipette auftragen und im Spincoater Lanz mit 3800 U/min schleudern. Lesen Sie die Rampe für den Spin-on Prozess im gewählten Programm ab.

1.5 Softbake Resist

Si-Wafer mit Resist für 2 Minuten auf Hotplate BLE bei 90°C trocknen und 2 Minuten abkühlen lassen.

1.6 Bestimmung der Anfangsschichtdicke (d_0)

Aufgrund nicht homogener Resistdickenverteilung wird jetzt die Lackdicke am FTP an den 16 Belichtungsfeldern, die später belichtet werden sollen, mit Hilfe einer ausgestanzten Schablone, wie sie auch für 1.7 verwendet wird, gemessen.

1.7 Belichten

Die Schablone aus 1.6 wird auf einen Glasträger mittig aufgeklebt. Der Resist wird jeweils durch ein ausgestanztes Loch belichtet, wobei die anderen Löcher mit einer zweiten Schablone abgedeckt werden. Bei jedem Loch wird eine andere Belichtungszeit verwendet (0-13 Sekunden, Erhöhung in 0.5 s-Schritten bis 2 s, dann in 1 s-Schritten bis 13 s) und damit 16 verschiedene Dosisleistungen.

Parameter: Proximity-Mode: exposure gap: 20 μm ; alignment gap: 30 μm ;
WEC type: proximity

1.8 Entwicklung

Der Wafer wird für 45 s mit dem Entwickler AR-300-26 entwickelt, anschließend im Spülbecken gespült und in der Trockenschleuder getrocknet.

1.9 Bestimmung der Resistschichtdicke (d)

Die resultierende Lackdicke nach Belichtung und Entwicklung wird am FTP an den 16 Belichtungsfeldern erneut gemessen.

Auswertung der Ergebnisse:

- Erstellen der Kontrastkurve (korrekte Skalierung und Beschriftung)
- Berechnung des Kontrastes und Vergleich mit den Herstellerangaben
- Ermittlung des Dunkelabtrags
- Ermittlung der dose-to-clear und dose-to-print und der entsprechenden Belichtungszeiten
- Diskussion der Ergebnisse und Fehleranalyse (Ermittlung und Bewertung aller im Versuch aufgetretenen Fehlerquellen und Einfluss auf das Ergebnis)

Versuchsteil 2

Charakterisierung von Resiststrukturen

Ziel des Versuchs:

Einfluss von verschiedenen Belichtungsmodi auf die Strukturauflösung eines Positivresistes AR-P 5910.

Versuchsdurchführung:

Als Substrat wird ein gereinigter Si-Wafer mit nativer Oxidschicht verwendet.

1.1 Prebake

Si-Wafer für 2 Minuten auf Hotplate Lanz bei 185°C zur Desorption von Wasser auf der Waferoberfläche ausheizen und anschließend 2 Minuten in Stickstoffumgebung abkühlen lassen.

1.2 Aufschleudern / Spin-on Haftvermittler

1 ml Haftvermittler (AR300-80) auf Si-Wafer mittels Einwegpipette auftragen und im Spincoater Lanz mit 7000 U/min schleudern. Lesen Sie die Rampe für den Spin-on Prozess im gewählten Programm ab.

1.3 Softbake Haftvermittler

Si-Wafer mit Haftvermittler für 2 Minuten auf Hotplate Lanz bei 185°C trocknen und 2 Minuten abkühlen lassen.

1.4 Aufschleudern / Spin-on Resist

3 ml Resist (AR-P 5910, Verdünnung 100:40) auf Si-Wafer mittels Einwegpipette auftragen und im Spincoater Lanz mit 3800 U/min schleudern. Lesen Sie die Rampe für den Spin-on Prozess im gewählten Programm ab.

1.5 Softbake Resist

Si-Wafer mit Resist für 2 Minuten auf Hotplate BLE bei 90°C trocknen und 2 Minuten abkühlen lassen.

1.6 Bestimmung der Homogenität der Lackdicke

Bestimmen Sie mit dem FTP an mindestens 5 Punkten die Dicke der aufgeschleuderten Lackschicht.

1.7 Belichten

Nehmen Sie dazu die Chrommaske mit den Teststrukturen und belichten Sie diese jeweils mit der in Versuchsteil 1 bestimmten Belichtungsdosis (dose-to-print) pro Quadrant mit dem jeweiligen Belichtungsmodus. Decken Sie mit einer geeigneten Schablone jeweils $\frac{3}{4}$ der Chrommaske ab.

Belichtungsmodi:

1. Proximity mode; exposure gap: 30 μm ; alignment gap: 30 μm ; WEC type: contact
2. Proximity mode; exposure gap: 10 μm ; alignment gap: 30 μm ; WEC type: contact
3. Vacuum mode: alignment gap: 30 μm ; WEC type: contact
4. Hardcontact mode: alignment gap: 30 μm ; WEC type: contact

1.8 Entwicklung

Der Wafer wird für 45 s mit dem Entwickler AR-300-26 entwickelt, anschließend im Spülbecken gespült und in der Trockenschleuder getrocknet.

1.9 Mikroskopische Kontrolle

Vermessen Sie mit dem optischen Mikroskop die in Abbildung 3 dargestellten Teststrukturen der Chrommaske. Wählen Sie von den sechs Strukturen sinnvoll drei aus. Vermessen Sie anschließend jeweils die dazu passenden Teststrukturen im jeweiligen Quadranten des prozessierten Wafers.

Achtung: Strukturen sehen alle ähnlich aus, haben aber andere Abmessungen!

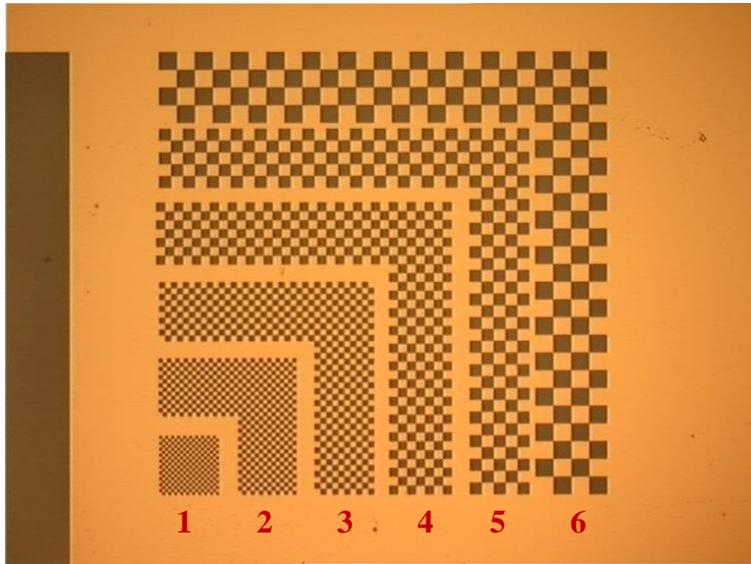


Abbildung 3: Teststrukturen der Chrommaske zur Charakterisierung der Auflösung des Resists.

Auswertung der Ergebnisse:

- Vergleich der Strukturen der Chrommaske mit den Strukturen im Resist bzgl. Formtreue, Kantenverrundung und Abmessungen für die vier Belichtungsmodi
- Berechnung der theoretischen Auflösungsgrenze b_{\min} mittels Formel (2) bei den verschiedenen Modi und Vergleich dieser Ergebnisse mit dem im Versuch erzielten Ergebnis, wobei

$$b_{\min} = k \sqrt{\lambda \left(d_{\text{prox}} + \frac{t_{\text{resist}}}{2} \right)}, \quad (2)$$

mit k : prozessabhängiger Faktor (hier: $k=1,5$); λ : Wellenlänge der Hauptemissionslinie, d_{prox} : Abstand von Substrat-Maske, t_{resist} : Dicke des Resists

- Diskussion der Ergebnisse und Fehleranalyse (Ermittlung und Bewertung aller im Versuch aufgetretenen Fehlerquellen und Einfluss auf das Ergebnis)

Anhang: Datenblatt Resist AR-P 5910

HF-stable Positive Photoresist AR-P 5900

Process conditions

This diagram shows exemplary process steps for resist AR-P 5910. All specifications are guideline values which have to be adapted to own specific conditions. For further information on processing, see "Detailed instructions for optimum processing of photoresists", for recommendations on waste water treatment and general safety instructions, see "General product information on Allresist photoresists".

	Pre-coating with AR 300-80		Adhesive bonding, resulting film thickness 15 nm
	1. Tempering		180 °C, 2 min hot plate or 180 °C, 25 min convection oven
	Coating		AR-P 5910
	2. Tempering (± 1 °C)		90 °C, 2 min hot plate or 85 °C, 25 min convection oven
	UV exposure		Broadband UV, 365 nm, 405 nm, 436 nm Exposure dose (E ₀ , broadband UV stepper): 380 mJ/cm ² , 5.0 μm
	Development (21-23 °C ± 0.5 °C) puddle		AR 300-26
	Rinse		DI-H ₂ O, 30 s
	Post-bake		110 °C, 2 min hot plate or 105 °C, 25 min convection oven
	Customer-specific Technologies		Etching with hydrofluoric acid
	Removal		AR 300-76 or O ₂ plasma etching

Processing instructions

Etching process: The resist is able to withstand 5 % HF or HF/isopropanol mixtures for some time (up to 15 minutes). Stability is increased if a pre-treatment with AR 300-80 is performed. A hydrofluoric acid solution buffered with ammonium fluoride (5 % HF, 5 % NH₄F) etches about as fast as 5 % HF alone, but resist structures are stable for up to one hour in this case. If BOE-mixtures of 5 : 1 (40 % NH₄F conc. HF) are used, etching is possible for an even longer period of time.

Development recommendations

Resist / Developer	AR 300-26
AR-P 5910	undil.

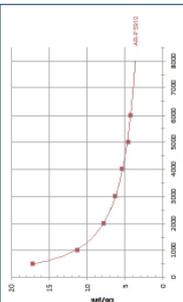
As of January 2014 4

HF-stable Positive Photoresist AR-P 5900

AR-P 5910 photoresist for hydrofluoric acid etchings up to 5 %

Adhesion-enhanced positive-tone resist for complicated patternings with HF etching mixtures

Characterisation		Properties I	
- broadband UV, i-line, g-line		Parameter / AR-P	5910
- highly enhanced adhesion, retarded diffusion of hydrofluoric acid in BOE-mixture 5 : 1 (> 1 h)		Solids content (%)	39
- stable against 5 % hydrofluoric acid (> 15 min)		Viscosity 25°C (mPa·s)	250
- plasma etching resistant up to 120 °C		Film thickness/4000 rpm (μm)	5
- combination of novolac and naphthoquinone diazide, crosslinking agent, adhesion promoter, safer solvent PGMEA		Resolution (μm)	2.0
		Contrast	2.0
		Flash point (°C)	42
		Storage 6 month (°C)	10 - 18

Spin curve		Properties II	
	Glass transition temperature	108	
	Dielectric constant	3.1	
Cauchy coefficients	N ₀	1.623	
	N ₁	1.66.8	
Plasma etching rates (nm/min) (5 Pa, 240-250 V Bias)	N ₂	10	
	Ar-sputtering	7	
	O ₂	16	
	CF ₄	38	
	80 CF ₄ + 16 O ₂	89	

Resist structures



Structure resolution



Process chemicals

Adhesion promoter	AR 300-80
Developer	AR 300-26
Thinner	AR 300-12
Remover	AR 300-76, AR 300-73

Process parameters

Substrate	Si ⁺ wafer
Tempering	90 °C, 2 min, hot plate
Exposure	Maskaligner MJB 3, contact exposure
Developm.	AR 300-26 undil., 90 s, 22 °C

As of January 2014 4



Haftvermittler für AR-Resists

Photoresists

AR 300-80 (neu) und HMDS Haftvermittler

Zur Verbesserung der Haftfestigkeit von Photo- und E-Beamresists

Charakterisierung

- Verbesserung der Haftfestigkeit von Photoresist- und E-Beamresistschichten
- Speziell bei Oberflächen mit schlechten Hafteigenschaften z.B. Metall, SiO₂, GaAs
- AR 300-80 (neu): Aufschleudern einer siliziumorganischen Lösung für bessere Hafteigenschaften und einfachere, preiswertere Alternative zu HMDS
- HMDS: Verdampfen von HMDS auf der Substratoberfläche (Equipment erforderlich)

Eigenschaften

Parameter / AR	300-80 (neu)	HMDS
Dichte bei 20 °C (g/cm ³)	0,971	0,774
Flammpunkt (°C)	7	14
Filtrationsgrad (µm)	0,2	0,2
Lagerung bis 6 Monate (°C)	10-22	

Verarbeitungshinweise AR 300-80 und AR 300-80 neu

Der AR 300-80 (neu) wird mittels spin coating zwischen 1000 - 6000 rpm aufgetragen. Die Schichtdicke kann über die Drehzahl auf die für den jeweiligen Prozess optimale Bedingung eingestellt werden.

Dabei sind höhere Drehzahlen und damit dünnere Schichten anzustreben, z.B. 4000 rpm mit ca. 15 nm. Zu hohe Konzentrationen (Schichtdicken) können die haftvermittelnde Wirkung wieder verringern oder aufheben.

Beim AR 300-80 wird empfohlen, die sich anschließende Temperung auf der hot plate für 2 min oder im Konvektionsofen für 25 min bei 180 °C durchzuführen. Der AR 300-80 neu bietet für empfindlichen Substrate den großen Vorteil, dass eine ausreichende Temperung bereits bei 60 °C bei gleicher Zeitdauer erreicht wird, ohne dass jedoch höhere Temperaturen schaden. Hinweis: Der AR 300-80 wird nur noch solange er vorrätig ist, verkauft. Mit der Temperung bildet sich eine sehr gleichmäßige, extrem dünne Haftvermittlerschicht auf dem Substrat aus (ca. 15 nm). Nach Abkühlung des Substrats kann der Resist wie üblich aufgetragen werden.

Überschüssiger Haftvermittler kann mit organischen Lösemitteln, wie z.B. dem AR 600-70 bzw. AR 600-71 abgewaschen werden, die optimierten Oberflächeneigenschaften bleiben dabei uneingeschränkt erhalten.

Verarbeitungshinweise HMDS

Für die Verarbeitung von HMDS ist ein entsprechendes Equipment erforderlich. Bei der Großserienfertigung werden Hotplates mit HMDS-Bedampfung verwendet.

Steht kein solches Equipment zur Verfügung, kann wie folgt vorgegangen werden: Die Vorbehandlung sollte unmittelbar vor der Resistbeschichtung stattfinden. Dazu wird das Substrat in einen Exsikkator gestellt. HMDS kann dort bei Raumtemperatur oder bei Temperaturen bis max. 160 °C verdampft werden und schlägt sich als monomolekulare Schicht (ca. 5 nm) auf der Substratoberfläche nieder.

Das behandelte Substrat kann ohne nachfolgende Temperung, unmittelbar nach der HMDS-Behandlung, mit Resist beschichtet werden oder bis zu einigen Tagen in einem geschlossenen Behälter aufbewahrt werden.

Die Lagerstabilität kann durch die Aufnahme von Wasser aus der Atmosphäre begrenzt werden. Aus diesem Grunde ist ein Stehenlassen in offenen Gefäßen zu vermeiden.

Stand: Januar 2019

62