



# Soluzione problemi litografici

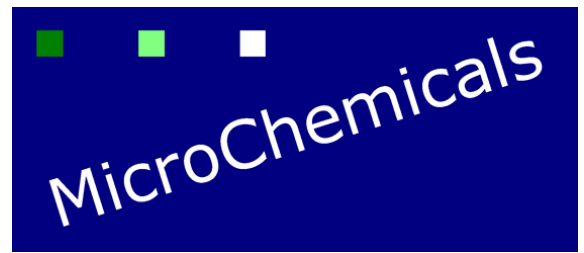
Domande e risposte relative  
ai problemi più frequenti  
nella microstrutturazione

2009/2010



Detailed technical information on all topics of this  
booklet can be found here:

[www.microchemicals.eu/technical\\_information](http://www.microchemicals.eu/technical_information)



## **Gentile lettrice, egregio lettore,**

quanto grande e variegato è il campo della microstrutturazione, tanto complessi sono i contesti fisici e chimici dei relativi parametri procedurali.

Con questo Trouble Shooter desideriamo fornire possibili risposte alle domande più frequenti della litografia. Abbiamo intenzionalmente scelto una configurazione molto compatta e rinunciato a spiegazioni dettagliate, riportate nel nostro libretto **Lithography 2008/2009**, nel quale vengono illustrati esaurientemente i punti trattati nel presente opuscolo.

## **Sull'uso del Trouble Shooter litografia**

In 15 capitoli suddivisi per temi, vengono di volta in volta descritti alcuni problemi tipici della litografia, seguiti da proposte risolutive. I riferimenti elencati al termine di molte proposte risolutive (p.es. ►5.4) si riferiscono a capitoli del nostro opuscolo attuale **Lithography 2008/2009**, nel quale gli argomenti trattati vengono approfonditi e illustrati con grafiche. Se non disponesse ancora del nostro opuscolo attuale, su richiesta ([info@microchemicals.eu](mailto:info@microchemicals.eu)) saremo lieti di farglielo pervenire gratuitamente!

## **Quello che il Trouble Shooter litografia NON deve essere**

Il modo più efficace per risolvere i problemi è e rimane il colloquio personale, cosa che questo Trouble Shooter non deve assolutamente sostituire.

Con questo opuscolo desideriamo offrirLe la possibilità di sondare dapprima di persona quali tentativi di soluzione possono essere presi in considerazione per un determinato problema.

Saremo lieti di discutere personalmente con Lei dei Suoi problemi. Ci contatti!

**Le auguriamo un grande successo**

**Sua MicroChemicals GmbH !**

# Indice

<i>A) Aspetto insolito del fotoresist e dello strato di fotoresist</i>	<i>5</i>
<i>B) Tecniche di stesura del fotoresist: problemi frequenti</i>	<i>6</i>
<i>C) Tecniche di esposizione: problemi frequenti</i>	<i>7</i>
<i>D) Sviluppo: percentuale di sviluppo troppo scarsa</i>	<i>8</i>
<i>E) Sviluppo: asportazione troppo alta dello scuro</i>	<i>10</i>
<i>F) Cattiva adesione del fotoresist</i>	<i>11</i>
<i>G) Risoluzione laterale del fotoresist troppo scarsa</i>	<i>13</i>
<i>H) Bollicine o particelle nello strato di fotoresist dopo la stesura del fotoresist</i>	<i>14</i>
<i>I) Bollicine nello strato di fotoresist dopo l'esposizione</i>	<i>14</i>
<i>J) Bollicine nello strato di fotoresist dopo le fasi di cottura o di processing</i>	<i>15</i>
<i>K) Incisione chimica a umido: problemi frequenti</i>	<i>15</i>
<i>L) Incisione chimica a secco: problemi frequenti</i>	<i>16</i>
<i>M) Galvanizzazione: problemi frequenti</i>	<i>16</i>
<i>N) Il Lift-off non funziona (non sufficientemente)</i>	<i>17</i>
<i>O) Impossibile rimuovere il fotoresist</i>	<i>18</i>



**A) Aspetto insolito del fotoresist e dello strato di fotoresist****1. Alterazione del colore?**

- i) Con l'andar del tempo tutti i fotoresist positivi e negativi si scuriscono. Alte temperature accelerano questo processo. Il motivo sono reazioni chimiche del fotoiniziatore dovute alla formazione di azocoloranti altamente assorbenti. Questa alterazione del colore si verifica solo nel campo spettrale visibile e non influisce sul processing del fotoresist. Poiché l'alterazione del colore avviene molto lentamente, il più delle volte si nota solo al momento del cambio di lotto del fotoresist.
- ii) Anche il contatto con acqua o solventi inadatti come isopropanolo o il congelamento del fotoresist può causare un'alterazione del colore. In questi casi non si può escludere un danno permanente del fotoresist.
- iii) Materiali del substrato diversi fanno apparire differente il colore dello strato di fotoresist.
- iv) Proprio negli strati di fotoresist sottili, una variazione dello spessore dello strato di fotoresist di pochi 10 nm, dovuto alla perdita di solvente, al materiale scaduto oppure al mutamento delle condizioni ambientali (temperatura, sistema o parametri di stesura del fotoresist), può causare un viraggio dello strato di fotoresist dovuto a interferenze.

**2. Punti scoperti dopo la stesura del fotoresist?**

- i) Un cattivo umettamento (come spesso avviene su metalli nobili, substrati insufficientemente puliti, umidità dell'aria molto alta o dopo microincisioni con soluzioni a base HF di superfici SiO<sub>2</sub> senza la completa rimozione dell'ossido), può favorire la comparsa di punti scoperti sul substrato. ▶4.2, 4.4, 4.5
- ii) Durante l'applicazione mediante centrifugazione, un altro motivo del mancato rivestimento può essere una quantità di fotoresist troppo scarsa (la quantità consigliata in base a dimensioni del substrato, spessore dello strato e viscosità del fotoresist è di 1 – 5 ml fotoresist/substrato) oppure un fotoresist applicato in modo decentrato sul substrato. ▶5.4
- iii) In caso di applicazione mediante centrifugazione su substrati lisci, una forte accelerazione (alcune migliaia di giri/min/s) fino alla velocità di centrifugazione finale senza una velocità di centrifugazione iniziale, spesso migliora il risultato della stesura del fotoresist. ▶5.4
- iv) In caso di applicazione mediante centrifugazione su substrati strutturati, si consiglia una bassa velocità di centrifugazione iniziale per la distribuzione uniforme del fotoresist prima di arrivare alla velocità di distribuzione finale, cosa che tuttavia richiede una quantità di fotoresist relativamente grande. ▶5.4
- v) Particelle e bollicine di gas, spesso sono la causa di difetti nello strato di fotoresist, le cause e i rimedi vengono descritti nel capitolo successivo. ▶5.5

**3. Striature, bollicine e particelle nello strato di fotoresist dopo la sua stesura?**

- i) Le bollicine d'aria nel fotoresist sono la causa primaria di strutture scoperte. Durante il travaso o lo spostamento del fotoresist possono crearsi bollicine d'aria. Secondo la viscosità del fotoresist possono occorrere alcune ore di attesa prima che salgano in superficie e si possa procedere all'applicazione. Anche durante l'aspirazione del fotoresist in una cuvetta o pipetta possono essere aspirate bollicine d'aria. ▶5.5
- ii) Anche bollicine di N<sub>2</sub> possono essere la causa di strutture scoperte e hanno la loro origine nella graduale decomposizione del fotoiniziatore, durante la quale viene liberato azoto. Se le confezioni di fotoresist vengono immagazzinate per un periodo prolungato, l'N<sub>2</sub> nel fotoresist si dissolve e durante l'apertura del contenitore, a causa dell'improvviso calo di pressione, forma bollicine. Anche in questo caso è opportuno attendere prima dell'applicazione, secondo la viscosità del fotoresist anche alcune ore, a coperchio aperto ma applicato, per fare salire in superficie le bollicine di N<sub>2</sub>. L'azoto può dissolversi nel fotoresist anche se viene usato, invece di un'apposita pompa, per il convogliamento del fotoresist sul substrato. ▶5.5

- iii) Come le bollicine d'aria e di gas, anche le particelle possono causare un risultato di stesura della fotoresist non omogeneo. Se sul substrato sono già presenti particelle, può dipendere da una pulizia insufficiente del substrato come anche da una classe insufficiente di camera senza polvere sul luogo della stesura del fotoresist. Le particelle nel fotoresist possono essere dovute al travaso in recipienti non sufficientemente puliti oppure a fotoresist scaduti = vecchi. Temperature di magazzinaggio troppo alte o un'ulteriore diluizione accelerano l'invecchiamento del fotoresist. ▶5.5

#### 4. Superficie del fotoresist opaca od ondulata dopo il rivestimento?

- i) La causa è perlopiù una concentrazione delle particelle tanto alta come può verificarsi solo nel fotoresist scaduto o venuto in contatto con solventi inadatti. Temperature di magazzinaggio troppo alte o forti diluizioni accelerano l'invecchiamento del fotoresist. Un ulteriore utilizzo del fotoresist, eventualmente abbinato a un filtraggio delle particelle è sconsigliabile, poiché la formazione di particelle è collegata a una perdita del fotoiniziatore. ▶3.1-3.5
- ii) Fotoresist immagazzinati troppo a lungo a temperatura ambiente o a temperature superiori, soprattutto quelli molto diluiti, occasionalmente mostrano una „gelificazione“ che si esprime sotto forma di „grumi“ macroscopici nello strato di fotoresist. Il fenomeno di invecchiamento è irreversibile. ▶3.1, 3.4

### B) Tecniche di stesura del fotoresist: problemi frequenti

#### 1. Applicazione mediante centrifugazione: fotoresist a margine del wafer?

- i) In caso di substrati tondi: eliminazione dinamica del fotoresist a margine del wafer a ca. 500 giri/min. con solvente AZ® EBR (niente solventi con un'elevata pressione di vapore, come p.es. acetone!) da una spruzzetta con ugello fine. ▶5.3
- ii) Una velocità di centrifugazione più alta per un tempo più breve. ▶5.3
- iii) Un distacco del fotoresist a margine del wafer dopo la centrifugazione con un aumento repentino della velocità di centrifugazione è ottimale se lo strato di fotoresist è già sufficientemente essiccato, ma quello a margine del wafer è ancora sufficientemente liquido per un distacco.
- iv) Una stesura del fotoresist ripetuta ogni volta con una velocità di centrifugazione più alta. ▶5.3
- v) Un'attesa dipendente dallo spessore dello strato di fotoresist e dal contenuto di solvente residuo tra stesura del fotoresist e un softbake per evitare un aumento del fotoresist a margine del wafer esistente dovuto alla diminuzione della viscosità dello strato di fotoresist ad alte temperature (eventualmente anche essiccazione pluristadio: temperatura ambiente 50°C ... 95°C). ▶5.3
- vi) Un'applicazione sul portasubstrato (p.es. disco di latta) con una cavità che accoglie a paro il substrato. ▶5.3
- vii) In caso di substrati angolari: se possibile un'eliminazione (rottura) dei pezzi marginali del substrato, unitamente al fotoresist a margine del wafer, o rimozione del fotoresist a margine del wafer con panni per camera senza polvere. ▶5.3
- viii) E' anche possibile un'esposizione e sviluppo del fotoresist a margine del wafer, ma può causare un T-topping delle strutture future. ▶5.3

#### 2. Applicazione mediante centrifugazione: strutture a mo' di cometa?

- i) Queste disomogenietà del fotoresist a forma di raggi radiali, sono perlopiù causate da bolle d'aria o N<sub>2</sub>, più raramente da particelle che vengono sospinte verso il bordo del substrato durante l'applicazione mediante centrifugazione. Cause e rimedi vedi A)3.i), A)3.ii) e A)3.iii). ▶5.4, 5.5

#### 3. Applicazione mediante centrifugazione: substrato in parte scoperto?

- i) Cause e rimedi vedi A)2. ▶5.4, 5.5

#### 4. Stesura del fotoresist a spruzzo: rivestimento insufficiente dei bordi?

- i) Una concentrazione troppo alta, soprattutto di solventi ad elevato punto di ebollizione, fa rifluire eccessivamente lo strato di fotoresist appena formatosi dai

bordi della struttura. Ci richieda informazioni sulle ricette di diluizioni adatte per lacche a spruzzo! ▶6.3, 6.4

- ii) Modifiche dell'equipaggiamento (minore distanza tra spruzzatore e substrato o raggi maggiori delle goccioline) possono aumentare la concentrazione di solvente delle goccioline che cadono sul substrato e causare quindi uno scorrere eccessivo del velo di fotoresist. ▶6.3, 6.4

#### 5. Stesura del fotoresist a spruzzo: strato ruvido del fotoresist?

- i) Una concentrazione troppo scarsa, soprattutto di solventi ad elevato punto di ebollizione, impedisce che le goccioline di fotoresist che cadono sul substrato possano distendersi e rendere liscio lo strato di fotoresist. Ci richieda informazioni sulle ricette di diluizioni adatte per fotoresist a spruzzo! ▶6.3, 6.4
- ii) Modifiche dell'equipaggiamento (maggiore distanza tra spruzzatore e substrato o raggi minori delle goccioline) possono ridurre la concentrazione di solvente delle goccioline che cadono sul substrato e impedire quindi una lisciatura dello strato di fotoresist formatosi. ▶6.3, 6.4

#### 6. Rivestimento per immersione: spessore disomogeneo dello strato di fotoresist?

- i) Se nel senso di trascinamento lo spessore dello strato di fotoresist ottenuto varia sull'intero substrato, la causa è l'essiccazione troppo lenta del fotoresist che scorre verso il basso sul substrato. I fotoresist ottimizzati per il rivestimento per immersione, come l'*MC Dip Coating Resist*, possiedono una composizione di solventi che consente spessori omogenei dello strato di fotoresist. ▶7.4
- ii) Vibrazioni (dovute al motore passo-passo del dispositivo di trascinamento o all'ambiente) oppure variazioni del flusso d'aria, causano disomogeneità piuttosto pronunciate dello spessore dello strato, parallelamente rispetto alla superficie del fotoresist nella vasca. Si dovrebbe altresì prestare attenzione affinché la sospensione del substrato non venga immersa nel fotoresist, poiché quello che vi scorre influisce sull'omogeneità del rivestimento. ▶7.3

#### 7. Rivestimento a rulli: strato di fotoresist disomogeneo

- i) I fotoresist ottimizzati per il rivestimento a rulli presentano caratteristiche tixotropiche, cioè una viscosità mutevole sotto pressione meccanica, che nel rivestimento a rulli porta a risultati più omogenei rispetto all'uso di fotoresist „normali“.

#### 8. Serigrafia: idoneità fondamentale dei fotoresist

- i) Le caratteristiche meccaniche dei fotoresist, normalmente non portano a buoni risultati nella loro applicazione con il procedimento serigrafico. Se tuttavia si vuole utilizzare questa tecnica di stesura del fotoresist, si consigliano fotoresist dense ad alta viscosità come AZ® 4562 oppure AZ® 9260.

### C) Tecniche di esposizione: problemi frequenti

#### 1. Scrittura laser

- i) Se dopo l'esposizione nello strato di fotoresist positivo o negativo sono visibili bollicine o screpolature, ciò è dovuto all'alta generazione di N<sub>2</sub> causata dalle elevate intensità luminose durante la trasformazione del fotoiniziatore nell'ambito della fotoreazione. Oltre all'uso di fotoresist più poveri di fotoiniziatori come l'*AZ® 4562* o *AZ® 9260* con uno spessore di strato più ridotto, può aiutare anche un softbake più lungo/caldo. Se le bollicine o screpolature persistono, si deve aumentare il tempo di scrittura a potenza laser più ridotta o suddividere il processo di scrittura laser in più cicli. ▶12.3, 12.11
- ii) Se il fotoresist esposto non può sviluppare nonostante una sufficiente dose di luce o non è possibile rimuovere il fotoresist non esposto, direttamente adiacente, lo strato di fotoresist potrebbe essere eventualmente diventato troppo caldo a causa dell'alta intensità luminosa. In questo caso la resina del fotoresist indurisce/reticola. Il fotoresist perde la sua solubilità in molti mezzi. Se non è possibile ridurre ulteriormente la potenza laser, potrebbero essere d'aiuto le indicazioni riportate nel capitolo O).

## 2. Litografia a interferenza laser

- i) Qui, spesso sono necessari strati di fotoresist molto sottili, che possono essere perlopiù ottenuti con la diluizione dei fotoresist esistenti. L'AZ® 701 MiR è uno dei pochi fotoresist che possono essere fortemente diluiti senza problemi (consigliamo il solvente PGMEA = AZ® EBR) e applicati in strati estremamente sottili. ►36
- ii) Le altissime risoluzioni nel campo sub- $\mu\text{m}$ , spesso necessarie nella litografia a interferenza laser sub- $\mu\text{m}$ , possono essere ottenute solo con determinati fotoresist. Consigliamo l'AZ® 701 MiR termostabile per successivi processi chimici a secco o l'AZ® ECI 3000 per successivi processi chimici a umido. ►36, 37

## 3. Lunghezze d'onda dell'esposizione al di fuori degli spettri d'assorbimento del fotoresist

- i) Lunghezze d'onde troppo grandi (p.es. > 450 nm in caso di fotoresist ad ampio spettro), sono poco indicate per l'esposizione, poiché gli spettri di assorbimento dei fotoresist si riducono di diverse decine di nm. A causa del basso assorbimento, con l'aumento della lunghezza d'onda le dosi di luce necessarie per l'esposizione completa diventano tuttavia molto grandi. Con l'alta profondità di penetrazione della luce, aumenta anche il pericolo che in caso di substrati trasparenti o ruvidi/strutturati, la luce venga guidata molto lateralmente riducendo l'esposizione ottenibile. ►2.4
- ii) Lunghezze d'onde troppo piccole (< 340 nm) aumentano solo teoricamente la risoluzione possibile. A causa della scarsa profondità di penetrazione della luce e dell'assorbimento parassita dei fotoiniziatori già trasformati, la dose di luce necessaria per l'esposizione completa dello strato di fotoresist aumenta notevolmente, cosa che, a causa dello scattering Rayleigh sempre più forte in caso di scarse lunghezze d'onda, spesso peggiora la risoluzione ottenuta. ►2.4, 12.6

## 4. Incollaggio dello strato di fotoresist alla maschera

- i) Dopo un softbake troppo breve/freddo, la percentuale di solvente residuo dello strato di fotoresist può essere così alta da causare un incollaggio alla fotomaschera. Consigliamo una temperatura di softbake di 100°C per un minuto per ogni  $\mu\text{m}$  di spessore dello strato di fotoresist sulla hotplate, nel forno alcuni minuti in più a causa della durata del riscaldamento.
- ii) Particelle sulla maschera possono essere schiacciate nelle vernice e al momento del distacco della maschera togliere in parte lo strato di fotoresist dal substrato.
- iii) Un Hard-Contact durante l'esposizione favorisce un incollaggio dello strato di fotoresist alla maschera. Se applicabile, può essere d'aiuto un modo Soft-Contact.
- iv) Una cattiva adesione del fotoresist aumenta generalmente il pericolo che lo strato di fotoresist si stacca localmente dalla maschera. Indicazioni su come migliorare l'adesività vengono fornite nel capitolo F).

## D) Sviluppo: percentuale di sviluppo troppo scarsa

### 1. Reidratazione sufficiente?

- i) Durante l'esposizione, i fotoresist positivi e negativi necessitano una quantità minima d'acqua nel loro volume, che dopo il softbake deve essere rialimentata dall'umidità dell'aria ambiente. La durata dipende fortemente dagli spessori dello strato di fotoresist e può variare da un minuto a più ore. ►10
- ii) In caso di reidratazione sufficientemente lunga, l'umidità dell'aria determina la percentuale di sviluppo ottenuta, che sotto il 40% si riduce notevolmente. Consigliamo quindi un'umidità relativa dell'aria possibilmente costante di ca. il 45%. ►10

### 2. Dose di esposizione sufficiente?

- i) Oltre che dal fotoresist e dallo spessore di suo strato, la durata di esposizione necessaria dipende in linea di massima anche dall'emissione spettrale della sorgente luminosa e dalla sensibilità spettrale del fotoresist. In caso di nuovi processi, fotoresist o modifiche dell'espositore, si consiglia sempre una serie di esposizioni. ►15.6, 41



- ii) In caso di strati di fotoresist sottili (spessore dello strato di fotoresist < profondità di penetrazione della luce), una dose di luce troppo scarsa causa una percentuale di sviluppo costante e bassa. Poiché lo strato di fotoresist viene esposto dalla superficie fino al substrato, le sue caratteristiche ottiche (trasmissione e riflessione) giocano un ruolo decisivo per la quantità della dose di luce necessaria. ►12.7
- iii) In caso di strati di fotoresist spessi (spessore dello strato di fotoresist > profondità di penetrazione della luce), una dose di luce troppo scarsa causa una percentuale di sviluppo costante fino a una determinata profondità, a partire dalla quale la percentuale scende quasi allo zero. ►12.7

### 3. Sviluppatore compatibile?

- i) Non tutti i fotoresist possono essere sviluppati con uno sviluppatore qualsiasi. Per sviluppi senza residui, gli AZ® 4533 e 4562, per esempio, richiedono l'AZ® 400K basato KOH o l'AZ® 826 MIF basato TMAH. Per i fotoresist negativi della serie AZ® nLOF 2000, per lo stesso motivo si consiglia uno sviluppatore basato TMAH, come l'AZ® 326 MIF, 726 MIF oppure 826 MIF. L'AZ® 111 XFS deve essere sviluppato con l'AZ® 303. ►31

### 4. Sviluppatore ancora attivo?

- i) Più grande è il rapporto tra superficie e volume del liquido, più l'apporto di CO<sub>2</sub> dall'aria limita la durata dei bagni di sviluppo non coperti (recipienti piccoli). Un'alimentazione del bagno di sviluppo con N<sub>2</sub> aumenta la durata. Anche in recipienti chiusi, a causa della diffusione di CO<sub>2</sub> attraverso le loro pareti, l'attività degli sviluppatori diminuisce con l'andar del tempo, cosa che è stata presa in considerazione nella data di durata residua dello sviluppatore. ►3.6
- ii) Un arricchimento con fotoresist sviluppato limita la capacità dello sviluppatore che, al più tardi, si esaurisce quando il bagno di sviluppo ha sviluppato l'uno per mille del suo volume proprio di fotoresist. ►15.5

### 5. Sviluppatore troppo diluito?

- i) L'AZ® 400K e l'AZ® 351B normalmente vengono usati diluiti con acqua nel rapporto 1 : 4. Il developer AZ® può essere usato da concentrato a diluito nel rapporto 1 : 1. Gli sviluppatori AZ® 326 MIF, 726 MIF e 826 MIF, normalmente vengono usati non diluiti. Per l'AZ® 303 i rapporti di diluizione tipici sono 1 : 4 (per l'AZ® 111 XFS) e 1 : 5 ... 1 : 8 (altre lacche). In caso di strati di fotoresist molto sottili o strutture finissime, una diluizione maggiore di 1.5 volte il valore di queste indicazioni può stabilizzare il processo. ►15.3

### 6. HMDS usato correttamente o contaminazione con altri mezzi?

- i) Se l'HMDS viene applicato mediante centrifugazione oppure a temperatura ambiente dalla fase gassosa, oppure i vapori dell'HMDS staccato dopo la centrifuga, durante la stesura del fotoresist penetrano nello strato di fotoresist, l'HMDS si attiva sotto lo strato di fotoresist solo durante il softbake. L'ammoniaca scissa durante questo processo può modificare chimicamente (reticolazione trasversale) soprattutto i punti di fotoresist vicini al substrato e impedire così uno sviluppo completo e/o ridurre la percentuale di sviluppo. Consigliamo vivamente di applicare l'HMDS dalla fase gassosa su substrati riscaldati e tenere sia il fotoresist sia lo strato di fotoresist lontani dai vapori HMDS. ►4.7
- ii) Molte sostanze usate frequentemente in camere senza polvere come ammoniaca o clorobenzene, nella loro fase gassosa possono penetrare nello strato di fotoresist, reticolarlo trasversalmente o stabilizzarlo chimicamente in altro modo nelle successive fasi di cottura (p.es. softbake) e ridurre quindi la percentuale di sviluppo.

### 7. Decomposizione termica del fotoiniziatore?

- i) La componente fotosensibile è anche termosensibile. Se la durata e la temperatura del softbake, della post cottura per inversione di immagine (o il Post Exposure Bake nei fotoresist negativi) superano i valori consigliati, le percentuali di sviluppo possono ridursi sensibilmente. Per il softbake consigliamo 100°C per la durata di un minuto ogni µm di spessore dello strato di fotoresist. ►9.4

- ii) A causa di un immagazzinaggio del fotoresist troppo lungo o a temperature troppo alte, un gran parte del fotoinziatore si decompone già prima del suo processing, causando l'abbassamento della percentuale di sviluppo. Una dose di luce adeguata, uno sviluppatore meno diluito o una maggiore durata di sviluppo può in parte compensare questa decomposizione. ► **3.1**

## 8. Spessore dello strato di lacca maggiore di quanto previsto?

- i) I cambiamenti delle condizioni del flusso dell'aria nello spincoater (altre forme e grandezze del substrato, cambiamenti nel flow, copertura del portastrato), attraverso una mutata percentuale di evaporazione del solvente dello strato di fotoresist, possono influenzarne lo spessore ottenuto.
- ii) La percentuale di evaporazione del solvente di uno strato di fotoresist applicato mediante centrifugazione e quindi il suo spessore, oltre che dalla temperatura e dall'umidità dell'aria dipende dalla concentrazione del solvente dell'atmosfera nello spincoater. Questa dipende sua volta, da quando e da quanti substrati sono già stati rivestiti di fotoresist dall'ultima pulizia dello spincoater. Per questo motivo, in caso di spessori dello strato di fotoresist costanti può essere sensato, prima di una serie di stesure di fotoresist, rivestire alcuni dummy-wafer.
- iii) Oltre che dalla sua temperatura, la viscosità del fotoresist e quindi lo spessore dello strato ottenuto, dipende fortemente dalla percentuale di solvente, che può diminuire con l'andar del tempo a causa della frequente apertura del contenitore.
- iv) In caso di stesura del fotoresist per immersione e a spruzzo, nel fotoresist vengono usati perlopiù solventi a basso punto di ebollizione come acetone o metiletilchetone, che evaporano molto più velocemente di quelli ad elevato punto di ebollizione altrimenti usati. In queste tecniche di stesura del fotoresist, lo spessore dello strato di fotoresist ottenuto può quindi aumentare in modo proporzionalmente più veloce con la durata in vaso aperto del fotoresist.

## 9. Cambiamento della riflettività dello substrato?

- i) Soprattutto negli strati di fotoresist sottili, la dose di luce assorbita dal fotoresist e quindi la durata di esposizione necessaria per uno sviluppo rapido, dipendono dal comportamento di riflessione e diffusione del substrato.

## E) Sviluppo: asportazione troppo alta dello scuro

### 1. Sviluppatore diluito correttamente?

- i) Con la crescente concentrazione dello sviluppatore, l'asportazione dello scuro aumenta più velocemente della percentuale di sviluppo. L'AZ® 400K e AZ® 351B normalmente vengono usati diluiti con acqua nel rapporto 1 : 4. Il developer AZ® può essere usato da concentrato a diluito nel rapporto 1 : 1. Gli sviluppatori AZ® 326 MIF, 726 MIF e 826 MIF, normalmente vengono usati non diluiti. Per l'AZ® 303 i rapporti di diluizione tipici sono tra 1 : 4 (per l'AZ® 111 XFS) e 1 : 5 ... 1 : 8 (altri fotoresist). Per il processing di fotoresist densi o un aumento della potenzialità produttiva, la concentrazione della sviluppatore può, a discapito della selettività, superare questi valori di alcune decine percentuali. ► **15.3**

### 2. Sviluppatore compatibile?

- i) Alcuni sviluppatori, come il developer AZ® o l'AZ® 826 MIF, presentano percentuali di asportazione dello scuro relativamente alte. Se i fotoresist da sviluppare non richiedono questi sviluppatori, si dovrebbero utilizzare sviluppatori più selettivi. ► **31**

### 3. Softbake ottimale?

- i) Un softbake troppo breve/freddo, a causa dell'alta percentuale di solvente residuo del fotoresist a ciò connessa, aumenta l'asportazione dello scuro. Consigliamo una temperatura di softbake di 100°C per un minuto per ogni µm di spessore dello strato di fotoresist. Se vengono usati forni, si dovrebbe aggiungere la durata occorrente al substrato per raggiungere la temperatura richiesta. Sugli hotplates, i substrati massicci o scarsamente termoconduttivi oppure che non aderiscono in modo planare (substrati deformati o arcuati), possono ridurre la temperatura effettiva nello strato di fotoresist, cosa che può essere compensata con un

prolungamento del softbake o un aumento della temperatura. ►9.2

- ii) In caso di un softbake troppo lungo/caldo, si decompone una parte del fotoiniziatore che nello stato non esposto agisce da inibitore e come tale riduce la percentuale di asportazione nello sviluppatore. Ne consegue l'aumento dell'asportazione dello scuro, il contrasto del fotoresist diminuisce. ►15.6, 16.1

#### 4. Decomposizione del fotoiniziatore dovuta a un immagazzinaggio troppo lungo o errato?

- i) A causa di un immagazzinaggio troppo lungo o a temperature troppo alte del fotoresist, una gran parte del fotoiniziatore, che nello stato non esposto agisce da inibitore e come tale riduce la percentuale di asportazione nello sviluppatore, si decompone già prima del suo processing. ►3.1

#### 5. Per fotoresist a inversione di immagine o negativi?

- i) Nei fotoresist negativi, la post cottura per inversione di immagine dopo la prima esposizione ha il compito di rendere insolubili le zone esposte nello sviluppatore. Se la post cottura per inversione di immagine è troppo fredda o troppo breve, la percentuale di asportazione di queste zone del fotoresist nello sviluppatore è sensibilmente più alta. I parametri di post cottura consigliati dipendono ogni volta dal fotoresist negativo utilizzato e dai requisiti del processo. „Se necessario ci contatti, saremo lieti di consigliarLa!“ ►17.3, 17.4
- ii) Nei fotoresist negativi, il Post Exposure Bake (PEB) reticola trasversalmente le zone di fotoresist esposte rendendole insolubili nello sviluppatore. I parametri PEB consigliati dipendono ogni volta dal fotoresist negativo utilizzato. Per i fotoresist AZ® nLOF 2000, consigliamo un processo hotplate a 110-120°C per 1-2 minuti. ►40

#### 6. Esposizione accidentale di zone „scure“ di fotoresist positivi?

- i) In caso di alte dosi di luce, la diffusione luminosa (scattering Rayleigh) all'interno dello strato del fotoresist può anche esporre zone nominalmente scure, che vengono poi asportate nello sviluppatore.
- ii) Una distanza tra maschera e superficie del fotoresist (intenzionale o accidentale a causa di particelle o bolle nello strato di fotoresist o di un fotoresist a margine del wafer), porta a un'esposizione di zone di fotoresist adiacenti dovuta alla diffrazione e alle riflessioni ripetute tra maschera e superficie del fotoresist. ►12.5
- iii) Substrati strutturati o ruvidi diffondono luce anche lateralmente sotto le zone dello strato di fotoresist oscurate dalla fotomaschera. Nei substrati trasparenti, la luce può essere condotta lateralmente nel substrato e illuminare così il fotoresist anche in punti nominalmente bui. In questo caso può essere sensato scegliere un dose di esposizione non più alta del necessario. Può inoltre essere d'aiuto un Bottom-Layer Anti-Reflective-Coating come l'AZ® Barli. ►11.2
- iv) La maggior parte dei fotoresist positivi è sensibile anche nel campo visibile a onde corte dello spettro. I tubi fluorescenti, le lampade a incandescenza e la luce diurna diretta o indiretta possono perciò esporre gli strati di fotoresist. Consigliamo vivamente di coprire tutte le sorgenti luminose e le finestre p.es. con una pellicola gialla, per garantire che con filtrino lunghezze d'onda < 520 nm. ►8.1

### F) Cattiva adesione del fotoresist

#### 1. Pretrattamento del substrato ottimale?

- i) Per la desorbimento delle molecole d'acqua depositatesi sulla superficie, in caso di substrati puliti è sufficiente un riscaldamento a 120°C - 140°C per alcuni minuti. A partire da 150°C, i legami OH sempre presenti sulle superfici ossidate si scompongono, cosa che fa aumentare ulteriormente il carattere idrofobo e quindi l'umettamento e l'adesione del fotoresist. ►4.1
- ii) In caso di substrati contaminati con particelle o impurità organiche, per migliorare l'umettamento e l'adesione del fotoresist, si consiglia una pulizia bifase dello substrato, prima con acetone (elimina le impurità organiche) e in seguito con isopropanolo (elimina l'acetone contaminato, prima che da esso si possano

formare striature).

►4.2

iii) HMDS dovrebbe essere applicato sui substrati riscaldati sotto vuoto dalla fase gassosa. L'applicazione in forma liquida, in molti casi rende l'adesione del fotoresist peggiore di quella dei substrati non trattati.

►4.7

iv) A incisione  $\text{SiO}_2$  con HF (p.es. „microincisione con soluzione a base HF“) avvenuta, l'adesione del fotoresist è subordinata alla completa rimozione dell'ossido. Se l'ossido è stato rimosso completamente, per un certo tempo la superficie Si passivata con idrogeno mostra un'ottima adesione del fotoresist. In caso di un'incisione dell'ossido incompleta, può rimanere una superficie molto idrofila con un umettamento e un'adesione del fotoresist pessimi, alla quale si può rimediare con un'incisione dell'ossido completa o una cottura ad alte temperature (ca. 700°C).

►4.4

## 2. In fase di incisione con HF?

i) L'acido fluoridrico si diffonde in modo relativamente veloce attraverso gli strati di fotoresist. Lo strato di fotoresist da un lato si gonfia e dall'altro anche il substrato sotto lo strato di fotoresist inizia a incidere. La conseguenza è che durante il processo di incisione o il successivo lavaggio, gran parte dello strato di fotoresist si stacca. Oltre a uno strato di fotoresist più spesso aiuta anche l'utilizzo di acido fluoridrico tamponato (BOE) al posto di HF non tamponato.

►4.4

## 3. Su metalli nobili?

i) Sui metalli nobili come oro o platino, generalmente il fotoresist ha una pessima aderenza, che non può essere migliorata nemmeno con leganti organici come HMDS. Se utilizzabile, è d'aiuto uno strato di pochi nm di titanio o cromo che dopo lo sviluppo del fotoresist può essere nuovamente tolto sui punti liberamente sviluppati o rimosso completamente dopo l'intero processing.

►4.5

## 4. Softbake ottimale?

i) Un softbake troppo breve/freddo peggiora l'adesione del fotoresist a causa dell'alta percentuale di solvente residuo nello strato di fotoresist. Negli strati di fotoresist spessi, durante l'esposizione spesso si formano bollicine di  $\text{N}_2$ , soprattutto vicino al substrato. Consigliamo una temperatura di softbake di 100°C di circa 1 minuto per ogni  $\mu\text{m}$  di spessore dello strato di fotoresist. In caso di substrati massicci o a bassa conduzione termica oppure nei processi in forno, si dovrebbero aggiungere alcuni minuti.

►9.2-9.5

ii) Se il softbake è troppo lungo/caldo, lo strato di fotoresist si infragilisce e, soprattutto in seguito a un raffreddamento troppo rapido dopo il softbake, l'adesione del fotoresist peggiora a causa di tensioni meccaniche. Potrebbero essere d'aiuto fasi di raffreddamento più lente.

## 5. Fotoresist positivi su substrati trasparenti?

i) In caso di esposizioni con dosi troppo alti, nei substrati trasparenti la luce può essere guidata lateralmente su grandi tratti, esponendo lo strato di fotoresist nei pressi del substrato. Questo fa sì che nello sviluppatore si staccino soprattutto piccole/sottili strutture.

►12.10

## 6. Fotoresist a inversione d'immagine o negativi?

i) Se a causa di una scarsa dose di esposizione e/o una post cottura per inversione di immagine troppo breve/fredda e/o un Post Exposure Bake è reticolato trasversalmente solo il lato superiore del fotoresist, le zone della lacca vicine al substrato possono essere asportate lateralmente dallo sviluppatore così fortemente che nello sviluppatore strutture di fotoresist piccole/sottili si staccano dal substrato.

►17.3

## 7. Materiali di substrato metallizzati/drogati diversamente sui due lati?

i) Se il lato anteriore e quello posteriore di un substrato elettricamente conduttivo sono muniti di metalli diversi e/o drogaggi differenti, in soluzioni acquose (sviluppatore, mezzo di incisione) dai due lati si può formare un elemento galvanico. Una possibile conseguenza è la formazione di  $\text{H}_2$  su un lato che cerca di staccare lo strato di fotoresist soprastante. Uno strato compatto di lacca protettiva sul lato opposto può impedire questo effetto.

**G) Risoluzione laterale del fotoresist troppo scarsa****1. Fotoresist adatto?**

- i) Fotoresist positivi come l'AZ® 1505, AZ® 1512 HS o l'AZ® 6612 consentono dimensioni di substrato inferiori a 1 µm, l'AZ® 701 MiR e la serie AZ® ECI 3000, inferiori a 0.5 µm. Nell'ambito dei fotoresist negativi, per risoluzioni nel campo sub-µm, sono adatti strati adeguatamente sottili della serie AZ® nLOF 2000.

▶36, 37, 40

**2. Gap tra la fotomaschera e il lato superiore del fotoresist?**

- i) Una distanza tra il lato inferiore della maschera e la superficie del fotoresist dovuta a particelle, bollicine d'aria o fotoresist a margine del wafer, a causa della diffrazione riduce l'ottenimento della risoluzione laterale di principio possibile con il fotoresist utilizzato.

▶12.5

**3. Parametri Softbake adatti?**

- i) In caso di un Softbake troppo caldo e/o lungo, si decompone una percentuale non trascurabile del fotoiniziatore di fotoresist positivi e negativi, che, come inibitore, nello stato non esposto riduce la percentuale di asportazione nello sviluppatore. Se durata e temperatura del Softbake superano i valori consigliati, a contemporanea riduzione della percentuale di sviluppo questo può aumentare la percentuale di asportazione dello scuro, rendendo difficile l'ottenimento di strutture di fotoresist molto piccole. Consigliamo una temperatura del Softbake di 100°C per ca. 1 minuto per ogni µm di spessore di strato di fotoresist. In caso di substrati massicci o a bassa conduzione termica oppure nei processi in forno, si dovrebbero aggiungere alcuni minuti.

▶9

- ii) In caso di un Softbake troppo breve o freddo, nello strato di fotoresist rimane troppo solvente residua e l'asportazione dello scuro risulta relativamente elevata. Questo rende difficile ottenere strutture molto piccole. I parametri Softbake da noi consigliati sono riportati nel capitolo precedente.

▶9

**4. Sviluppatore compatibile e preparato in modo ottimale?**

- i) Alcuni sviluppatori come il developer AZ® o AZ® 826 MIF, possiedono percentuali di asportazione dello scuro relativamente alte e sono quindi sconsigliabili per strutture di fotoresist molto piccole o l'esigenza di bordi molto inclinati.

▶31

- ii) Con l'aumento della concentrazione della soluzione sviluppatore, la percentuale di asportazione dello scuro cresce in modo sproporzionato. I rapporti di diluizione ottimali sono elencati nel capitolo E)1.i), per strutture molto sottili sono anche possibili diluizioni maggiori.

▶15.3

**5. Dose di esposizione ottimale?**

- i) In caso di fotoresist positivi, se la dose di esposizione è troppo scarsa o aumenta la durata necessaria per lo sviluppo completo oppure lo sviluppatore deve avere una concentrazione maggiore. In entrambi i casi, l'asportazione del fotoresist non esposto è relativamente elevata e la risoluzione ottenibile diminuisce.

▶41

- ii) In caso di fotoresist negativi o a inversione dell'immagine, se la dose di esposizione è troppo scarsa, l'asportazione delle zone di fotoresist esposte aumenta riducendo la risoluzione ottenibile.

▶17.3

- iii) Se le dosi di luce sono troppo alte, possono essere esposte anche zone nominalmente scure dello strato di fotoresist che, in caso di fotoresist positivi, vengono altresì asportate nello sviluppatore oppure, in caso di fotoresist negativi o a inversione dell'immagine, riducono le zone di fotoresist sviluppabili. Entrambe le cose diminuiscono la risoluzione ottenibile e sono illustrate nel dettaglio con le possibili cause nel capitolo E) 6.



## H) Bollicine o particelle nello strato di fotoresist dopo la stesura del fotoresist

### 1. Confezioni di fotoresist mosse?

- i) Durante il movimento (trasporto, agitazione) delle confezioni di fotoresist, in quest'ultimo possono venire incluse bollicine d'aria. Per consentire alle bollicine di salire in superficie prima dell'applicazione del fotoresist, la confezione dovrebbe riposare per un certo lasso di tempo. Il tempo d'attesa dipende sostanzialmente dalla viscosità del fotoresist, un'ora dovrebbe tuttavia portare miglioramenti.

►5.5

### 2. Confezioni di fotoresist chiuse per un periodo prolungato?

- i) Con l'andar del tempo, i fotoresist positivi e negativi formano  $N_2$  che si scioglie dapprima nel fotoresist e, a causa dell'improvviso calo di pressione durante l'apertura della confezione, può formare bolle. Per farle salire in superficie prima dell'applicazione del fotoresist, la confezione dovrebbe riposare per un certo lasso di tempo a coperchio appoggiato (per consentire la compensazione della pressione senza l'immissione di particelle). Il tempo d'attesa dipende sostanzialmente dalla viscosità del fotoresist, un'ora dovrebbe tuttavia portare miglioramenti.

►5.5

### 3. Applicazione manuale?

- i) L'applicazione manuale del fotoresist mediante pipette, spesso causa la formazione di singole bollicine d'aria. Può aiutare la temporanea conservazione in posizione verticale del recipiente prima dell'applicazione per fare salire in superficie le bollicine d'aria racchiuse.

►5.5

### 4. Stesura del fotoresist a spruzzo?

- i) Se la percentuale di un solvente a bassa temperatura di ebollizione è troppo alta, le goccioline di fotoresist essiccano già nella fase di nebulizzazione diventando microsferiche che si depositano anche sul substrato.

►6.3

### 5. Fotoresist immagazzinato troppo a lungo?

- i) Il fotoresist immagazzinato oltre la sua scadenza o in modo errato (troppo caldo), tende alla formazione di particelle. Ne sono interessati soprattutto i fotoresist a bassa viscosità con un alto contenuto di fotoiniziatore.

►3.5

### 6. Fotoresist diluito?

- i) Una diluizione dei fotoresist dovrebbe avvenire solo con solventi adatti (p.es. PGMEA o MEK) e con un limitato rapporto di diluizione, altrimenti i fotoresist tendono a una rapida formazione di particelle. Ci contatti per avere informazioni sui diluenti adatti.

►3.4

## I) Bollicine nello strato di fotoresist dopo l'esposizione

### 1. Softbake sufficiente?

- i) Un Softbake troppo breve/freddo significa un'alta percentuale di solvente residuo nello strato di fotoresist. L'azoto generatosi durante l'esposizione di fotoresist positivi o negativi può portare alla formazione di bollicine. Consigliamo una temperatura di Softbake di 100°C per ca. 1 minuto per ogni  $\mu m$  di spessore dello strato di fotoresist. In caso di substrati massicci o a bassa conduzione termica oppure nei processi in forno, si dovrebbero aggiungere alcuni minuti.

►9

### 2. Adesione del fotoresist sufficiente?

- i) L'azoto generatosi durante l'esposizione di fotoresist positivi o negativi, può formare localmente bollicine sui punti dove il fotoresist non aderisce perfettamente. Consigli sul pretrattamento ottimale del substrato vengono fornite nel capitolo F).

►4

### 3. Intensità di esposizione troppo alta?

- i) L' $N_2$  formatosi durante l'esposizione di fotoresist positivi o negativi, dovrebbe poter liberarsi simultaneamente dallo strato di fotoresist. Se l'intensità di esposizione è troppo alta, con l'aumento della concentrazione di  $N_2$  nello strato di

fotoresist di formano bollicine o cricche di tensione. Può essere d'aiuto una riduzione dell'intensità di esposizione o la suddivisione dell'esposizione in più fasi con pause intermedie (p.es. nella scrittura laser). ►13

#### 4. Strato di fotoresist troppo spesso?

- i) Più spesso è lo strato di fotoresist, più difficile è fare dissipare sulla superficie l'azoto generatosi durante l'esposizione, prima che possa formare bollicine. Per gli strati di fotoresist spessi si consigliano quindi fotoresist densi adatti come l'AZ® 4562 o l'AZ® 9260, la cui percentuale di generazione di N<sub>2</sub> è relativamente bassa grazie alla minor percentuale di fotoiniziatori. ►13

### J) Bollicine nello strato di fotoresist dopo le fasi di cottura o di processing

#### 1. Fotoresist esposto dopo fasi di cottura?

- i) L'azoto generatosi durante l'esposizione di fotoresist positivi o negativi, in caso di alte temperature (p.es. durante il Post Exposure Bake, la post cottura per inversione di immagine o i processi di galvanizzazione successivi) può formare bollicine nel fotoresist che si ammorbidisce ulteriormente. Aiuta un tempo d'attesa più lungo tra l'esposizione e la fase di cottura o procedurale successiva.

#### 2. Dopo un rivestimento (sputtering, vaporizzazione) o incisione a secco?

- i) L'aumento della temperatura che si verifica fa evaporare nel fotoresist i solventi residui o l'acqua assorbita durante lo sviluppo. Favorite dalla scarsa pressione ambientale come anche dal fotoresist che si ammorbidisce con il calore, nel fotoresist possono formarsi bollicine. Un Softbake più lungo/caldo riduce la percentuale di solvente residuo e una fase di cottura dopo lo sviluppo, il contenuto d'acqua. ►18.2
- ii) Un'altra possibile di fonte per la formazione di gas è l'azoto che si genera come prodotto della fotoreazione negli strati di fotoresist non ancora esposti a causa della radiazione UV presente durante lo sputtering, l'incisione a secco o la vaporizzazione. Per impedire un'esposizione degli strati del fotoresist *durante* il processo, è d'aiuto un'esposizione a tappeto (flood exposure) *prima* del relativo processo, la cui dose dovrebbe essere – senza fotomascera – un multiplo dell'esposizione che definisce la struttura, seguita da un sufficiente tempo d'attesa per il degassamento dell'N<sub>2</sub> formatosi. I fotoresist negativi della serie AZ® nLOF 2000, durante l'esposizione non liberano azoto e quindi non necessitano di queste procedure. ►18.3

### K) Incisione chimica a umido: problemi frequenti

#### 1. Problemi di adesione?

- i) Le possibili cause e i rimedi per una cattiva adesione del fotoresist sono riportati nel capitolo F). ►22.12, 22.13

#### 2. Sottoincisione?

- i) Le soluzioni di incisione isotropiche generalmente provocano una sottoincisione del fotoresist in una misura analoga alla profondità di incisione. Una sottoincisione più forte potrebbe significare una cattiva adesione del fotoresist (vedi capitolo F), che può essere migliorata anche con un Hardbake (ricottura) dopo lo sviluppo a ca. 140°C. ►22.12, 22.13

#### 3. Inizio disomogeneo dell'incisione?

- i) Anche pochi nm di residui di fotoresist nelle zone liberamente sviluppate possono rappresentare una barriera per un rapido inizio dell'incisione. Le cause possibili possono essere: sviluppatore incompatibile (vedi capitolo D)3), errato pretrattamento HMDS (vedi capitolo D)6.i)) o un lavaggio insufficiente dopo lo sviluppo.
- ii) Nell'alluminio gli sviluppatore alcalini attaccano maggiormente lo strato di ossido d'alluminio dove il fotoresist è più sviluppato (p. es. in punti dove il fotoresist è più sottile, sui bordi di strutture sviluppate o su strutture sviluppate di dimensioni maggiori). Secondo il grado di sovrasviluppo e il tempo d'attesa tra sviluppo e

incisione dell'alluminio questo può causare un inizio spazialmente disomogeneo dell'incisione e quindi un'incisione dell'alluminio di profondità diversa. ►22.1

#### 4. Profondità di incisione irregolari durante l'incisione di alluminio?

- i) Le bollicine formatesi durante l'incisione dell'alluminio depositatesi sul substrato, agiscono localmente da barriera per l'incisione dell'alluminio. Queste bollicine possono essere eliminate dal substrato con ultrasuoni oppure con l'incisione alternata e brevi immersioni in acqua DI (incisione a intervalli). ►22.1

#### 5. Danneggiamento della fotoresist con soluzioni d'incisioni contenenti HNO<sub>3</sub>?

- i) In caso di mezzi molto ossidati, un hardbake a 140°C dopo lo sviluppo può aumentare la resistenza chimica del fotoresist. ►16.1

#### 6. Nessuna resistenza del fotoresist in mezzi alcalini (KOH, TMAH ...)?

- i) Un Hardbake a 150°C od oltre può aumentare la stabilità alcalina dei fotoresist, ma anche le strutture di fotoresist cotte ad alte temperature, reticolate trasversalmente come maschere non sono sufficientemente resistenti per soluzioni di incisione Si anisotrope. Per questo scopo si consiglia l'uso di maschere dure di p.es. SiO<sub>2</sub> o SiNx.

### L) Incisione chimica a secco: problemi frequenti

#### 1. Il fotoresist si confonde?

- i) Se durante la incisione a secco la temperatura supera il punto di rammollimento (tip. 100 ... 130°C per le lacche positive) del fotoresist utilizzato, i suoi profili iniziano ad arrotondarsi e confondersi. Le contromisure sono un accoppiamento termico ottimizzato del substrato al suo supporto (p.es. un po' di olio per turbopompe per una buona asportazione del calore di substrati tesi, curvati), un buffer termico sufficiente (struttura massiccia del portasubstrato) o un'asportazione del calore (p. alluminio anodizzato nero come irradiazione termica posteriore) del portasubstrato, una percentuale ridotta di incisione o un'incisione pluristadio con pause intercalate di raffreddamento o un fotoresist termostabile (p.es. l'AZ® 701 MiR o la serie AZ® 6600) nonché un sufficiente Softbake per la minimizzazione della percentuale di solvente residuo. ►20.6

#### 2. Il fotoresist forma schiuma?

- i) Un fotoresist non ancora esposto, a causa della radiazione UV presente durante l'incisione a secco, può essere esposto e liberare azoto. Favorite dal rammollimento termico del fotoresist, possono così formarsi bollicine e il fotoresist può formare schiuma. ►20.7

#### 3. Il fotoresist non può più essere rimosso?

- i) Alte temperature, bombardamento ionico e radiazione UV di fondo durante l'incisione a secco, possono reticolare trasversalmente il fotoresist così fortemente da non poter poi essere rimosso o essere rimosso solo con difficoltà con la chimica a umido. Il capitolo O) descrive le misure possibili per porre rimedio. Anche materiale ridepositato sullo strato di fotoresist può rendere difficile la rimozione del fotoresist, in questo caso aiuta il ricorso agli ultrasuoni. ►20.6, 20.8, 25

### M) Galvanizzazione: problemi frequent

#### 1. Stabilità del fotoresist

- i) Nell'ambito acido, tutti i fotoresist AZ® e TI sono sufficientemente stabili per la galvanizzazione. ►19.1
- ii) I bagni alcalini sono più critici. Da un valore pH di ca. 10 (a seconda della temperatura del bagno e della durata della galvanizzazione), la maschera di lacca viene intaccata. Nell'ambito alcalino, i fotoresist reticolanti trasversalmente come la serie AZ® nLOF 2000, possiedono una stabilità leggermente maggiore rispetto ai fotoresist positivi o negativi. ►19.1

#### 2. Infiltrazioni sotto la maschera di fotoresist o cattiva adesione del fotoresist?

- i) A causa del gonfiamento del fotoresist, durante il processo galvanico, l'adesione

con il substrato può diminuire. Consigli per l'ottimizzazione dell'adesione del fotoresist vengono forniti nel capitolo F). Sui metalli nobili, un velo di titanio di pochi nm (in alternativa cromo o alluminio) migliora sensibilmente l'adesione del fotoresist. Un tale sottile film metallico può – se necessario – essere rimosso dai punti sviluppati liberamente dopo lo sviluppo in mezzi adatti. In questo caso di deve prestare attenzione affinché lateralmente non venga inciso eccessivamente sotto lo strato di fotoresist, cioè che il processo di incisione venga ultimato il più simultaneamente possibile con la rimozione dello strato adesivo. ►19.2

### 3. Contaminazione del bagno galvanico a causa della fuoriuscita di solventi residui ?

- i) Gli strati di fotoresist essiccati con i consueti parametri di Softbake, possono sempre contenere una piccola percentuale di solventi residui. Se durante la galvanizzazione il solvente raggiunge il bagno galvanico, la chimica di separazione può esserne disturbata. In questo caso si consiglia un Softbake più intenso (più lungo/caldo). ►19.3
- ii) Per gli strati di fotoresist spessi, nei quali anche un Softbake lungo lascia nelle vicinanze del substrato una percentuale di solvente residuo relativamente alta, può essere d'aiuto una fase di cottura dopo lo sviluppo. Per mantenere i bordi del fotoresist, la cottura dovrebbe essere eseguita almeno a 10°C sotto il punto di rammollimento del fotoresist utilizzato. ►19.3

### 4. Profilo del fotoresist

- i) Se si desiderano bordi il più perpendicolari possibile, per maschere di fotoresist dello spessore di pochi µm, si consiglia l'uso dell'AZ® ECI 3000 o della serie AZ® 6600, per strati più spessi dell'AZ® 4562 o soprattutto dell'AZ® 9260. ►34-37
- ii) Se la struttura metallica modellata deve avere un profilo positivo, come maschera si consiglia il fotoresist negativo AZ® nLOF 2000 per strati spessi fino a ca. 20 µm. Questo fotoresist consente di impostare, attraverso la dose di esposizione e il PEB, la forma dell'undercut su un'ampia zona. Grazie alla reticolazione trasversale, questo fotoresist è inoltre chimicamente e termicamente più stabile di quelli positivi. ►40
- iii) Se la struttura metallica deve avere un profilo negativo (cioè aprirsi verso l'alto), il profilo del fotoresist deve rastremarsi partendo dal substrato. Questo può essere ottenuto con un Proximity Gap della maschera durante l'esposizione o un Reflow delle strutture di fotoresist dopo lo sviluppo oltre il punto di rammollimento del fotoresist utilizzato. ►16.2

### 5. La struttura metallica non aderisce perfettamente?

- i) Se un fotoresist viene sviluppato con uno sviluppatore inadatto oppure non viene pulito sufficientemente dopo lo sviluppo, pochi nm di residui di fotoresist sottili e invisibili, possono impedire il contatto ottimale del metallo depositatosi. Gli abbinamenti ottimali tra i vari fotoresist e sviluppatori sono elencati nel capitolo D)3. ►31
- ii) L'HMDS non applicato correttamente (liquido o applicato su wafer non riscaldati), può causare una reticolazione trasversale degli strati di fotoresist vicini al substrato, che non vengono sviluppati completamente e rimangono così tra l'accrescimento a strati e il metallo. ►4.7

## N) Il Lift-off non funziona (non sufficientemente)

### 1. Vaporizzazione o sputtering?

- i) Mentre con lo sputtering più o meno isotropo possono essere rivestiti anche bordi di fotoresist perpendicolari o undercutted, la vaporazione mirata in generale porta a un risultato del Lift-off notevolmente migliore. Soprattutto per gli strati spessi (> alcune centinaia di nm), dove possibile, si dovrebbe preferire la vaporizzazione allo sputtering.

### 2. Fotoresist adatto?

- i) Per un buon risultato del Lift-Off, i bordi undercutted sono migliori di quelli perpendicolari o positivi. Ai fotoresist positivi si devono quindi preferire quelli negativi come la serie AZ® nLOF 2000 o fotoresist a inversione di immagine,

come p.es. l'AZ® 5214 E o TI 35ES. Se si devono tuttavia usare fotoresist positivi, si consigliano quelli con l'opzione di bordi pressoché perpendicolari come la serie AZ® 6600 o il fotoresist denso AZ® 9260, eventualmente in abbinamento con il *Developer Soaking* (dettagli in merito su richiesta). ►38-40

### 3. Rammollimento durante l'esposizione?

- i) Se durante l'esposizione la temperatura supera il punto di rammollimento del fotoresist utilizzato, i bordi del fotoresist si arrotondano e vengono rivestiti. I possibili rimedi sono indicati nel capitolo L)1.i). ►18.1

### 4. Mezzo Lift-off adatto?

- i) Durante il Lift-off con acetone a rapida evaporazione, spesso sul substrato si depositano particelle di materiale già liftato, estremamente difficili da eliminare. Più adatto è il solvente NMP, che grazie alla sua scarsa pressione del vapore può essere riscaldato a 80°C. Un ulteriore trattamento agli ultrasuoni può accelerare il Lift-off. ►18.5

## O) Impossibile rimuovere il fotoresist

### 1. Solvente come remover?

- i) L'acetone utilizzato occasionalmente non è un remover ottimale poiché da una parte non può essere riscaldato a causa del basso punto di infiammabilità e dall'altra perché a causa della sua alta pressione del vapore evapora rapidamente e può così provocare residui di fotoresist. Tra i solventi organici si consiglia l'NMP, che può essere riscaldato fino a 80°C e rimuovere anche fotoresist moderatamente reticolato trasversalmente. ►25.1, 25.2

### 2. Mezzi alcalini come remover?

- i) Come alternativa ai solventi organici è consigliabile il remover AZ® 100 Remover che, usato senz'acqua, è anche ampiamente compatibile con l'alluminio. In alternativa, come remover si può anche usare NaOH oppure KOH (sempre > al 2%). In questo caso, una maggiore reticolazione trasversale del fotoresist richiede concentrazioni e/o temperature più alte. ►25.1, 25.3

### 3. Hardbake a temperature molto elevate?

- i) Durante il processing, i fotoresist negativi vengono reticolati trasversalmente, quelli positivi (AZ®-) a base di resina cresolica, reticolano trasversalmente a partire da 150°C. Per tutti i fotoresist vale il principio che il grado di reticolazione trasversale e quindi l'insolubilità in solventi o remover alcalini cresce con l'aumento della temperatura. ►16.1

### 4. Dopo il rivestimento (sputtering, vaporizzazione, CVD)?

- i) L'aumento della temperatura che si verifica può, insieme con la radiazione UV (termica o di ricombinazione), reticolare trasversalmente il fotoresist e quindi peggiorarne la rimozione. Il rimedio sotto forma di una riduzione della temperatura è descritto nel capitolo L)1.i). ►18.1

### 5. Dopo l'incisione a secco?

- i) Di principio qui vale quanto descritto nel paragrafo precedente. In caso di incisione a secco, esiste inoltre il pericolo di un rideposito del materiale inciso sulla superficie della lacca. Tale materiale può essere insolubile nei remover e dovrebbe essere, eventualmente supportato da ultrasuoni, inciso in mezzi adeguati. ►20.6





## I Suoi interlocutori



Dr.-Ing. **Christian Koch**

Telefono +49 731 36080-409  
Cellulare +49 178 7825198  
Fax +49 731 36080-908  
E-mail [koch@microchemicals.eu](mailto:koch@microchemicals.eu)



Dr.-Ing. **Titus J. Rinke**

Telefono +49 731 36080-409  
Cellulare +49 177 3332453  
Fax +49 731 36080-908  
E-mail [rinke@microchemicals.eu](mailto:rinke@microchemicals.eu)



## Colofon

### Indirizzo postale

MicroChemicals GmbH  
Schillerstrasse 18  
D-89077 Ulm

Telefono: +49 731 36080-409  
Fax: +49 731 36080-908  
E-mail: [info@microchemicals.eu](mailto:info@microchemicals.eu)  
Internet: [www.microchemicals.eu](http://www.microchemicals.eu)

### Direzione

Dr.-Ing. Titus J. Rinke, Dr.-Ing. Christian Koch

### Registro delle imprese

Ulm, HRB 4271

### Partita IVA

DE813168639