

MIKROGALVANIK BESTIMMTER METALLE

Dieses Kapitel geht konkret auf die galvanische Abscheidung bestimmter Metalle ein, die aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften häufig Verwendung in der Mikroelektronik oder Mikromechanik finden. Zu jedem Metall werden mögliche Elektrolyte und die entsprechenden elektrochemischen Vorgänge im Elektrolyten und den Elektroden erläutert.

Galvanische Abscheidung von Gold

Anwendungsbereiche

In der Elektronik und Elektrotechnik finden Goldüberzüge aufgrund der guten elektrischen Leitfähigkeit, der sehr hohen Korrosionsbeständigkeit, dem geringen Kontaktwiderstand sowie die gute Lötbarkeit von Gold breite Verwendung. Typische Schichtdicken liegen bei einigen 100 nm (z. B. zur Löthilfe) bis einigen µm als Korrosionsschutz.

Alkalische zyanidische Abscheidung von Gold

Hierbei basiert der Elektrolyt auf dem hochgiftigen Kaliumdicyanoaurat(I) = $K[Au(CN)_2]$. Diese Verbindung enthält ca. 68 % Gold und dissoziiert in wässriger Lösung in K^+ - und $[Au(CN)_2]^-$ -Ionen. Letztere wandern zur Anode und dissoziieren dort zu Au^+ - und $(CN)^-$ -Ionen. Die Gold-Ionen wandern zurück zur Kathode, werden dort neutralisiert und auf der Kathode abgeschieden.

Als Anode kommen entweder lösliche Gold- oder Gold-Kupferelektroden, oder unlösliche platiniierte Titan-Elektroden zum Einsatz.

Neutrale zyanidische Abscheidung von Gold

Dieser Elektrolyt basiert ebenfalls auf Kaliumdicyanoaurat, enthält jedoch kein freies Zyanid (keine freien $(CN)^-$ -Ionen). Als Anode kommen unlösliche platiniierte Titan-Elektroden zum Einsatz.

Saure zyanidische Abscheidung von Gold

Auch hier ist Kaliumdicyanoaurat die Goldquelle im Elektrolyten, der zusätzlich Cobalt oder Nickel, sowie Zitronensäure enthält. Hierdurch lassen sich glänzende Goldschichten erzielen, die wegen ihres relativ großen Anteils organischer Bestandteile vergleichsweise hart sind und eine geringe Duktilität aufweisen.

Als Anode kommen unlösliche platiniierte Titan-Elektroden oder Edelstahl zum Einsatz.

Stark saure zyanidische Abscheidung von Gold

Hierfür bildet dreiwertiges Kaliumtetracyanoaurat(III) = $K[Au(CN)_4]$, welches auch in stark sauren Lösungen beständig ist, den Metallträger des Elektrolyten. Weiterhin sind Mineralsäuren wie Schwefel- oder Phosphorsäure enthalten.

Zyanid-freie Abscheidung von Gold mit Goldsulfiten

Anstelle der hochgiftigen Cyano-Verbindungen basiert hierbei der Elektrolyt auf Ammoniumdisulfitoaurat(I) = $(NH_4)_3[Au(SO_3)_2]$ bzw. Natrium-disulfitoaurat(I) = $(Na)_3[Au(SO_3)_2]$ (Alkaligoldsulfit). Die $[Au(SO_3)_2]^{3-}$ -Ionen der Lösung zerfallen nahe der Kathode in Au^+ und $(SO_3)^{2-}$ -Ionen, die Goldionen werden an der Kathode zu Gold reduziert und abgeschieden.

Neben dem Verzicht auf die hochgiftigen zyanidischen Bäder haben aus sulfidischen Elektrolyten abgeschiedene Goldschichten die Vorteile ausgezeichneter Makrostreufähigkeit (= hohe Abscheiderate auch an strombenachteiligten Stellen der Elektrode) und hoher Duktilität.

Unser Goldbad NB SEMIPLATE AU 100 basiert aus diesen Gründen auf einem sulfidischen Elektrolyten.

Glanzbildung

Ein hoher Glanz des abgeschiedenen Goldes erfordert eine glatte Oberfläche mit feiner, definierter kristalliner Struktur. Dafür ist es notwendig, die Keimbildung beim Gold-Wachstum zu fördern, dabei gleichzeitig das Keimwachstum zu unterdrücken.

Diese Anforderung wird je nach Elektrolyt durch Zugabe von Elementen wie Arsen, Thallium, Selen und Blei sowie Ethylendiamin erfüllt, die das Wachstum der Kristallite über eine lokal selektive Passivierung oder eine chemische Pufferung unmittelbar am Ort der Goldabscheidung kontrollieren.

Galvanische Abscheidung von Nickel

Abscheidung von Nickel mit Nickelsulfat

Hauptmetalllieferant ist hierbei Nickelsulfat als Hexahydrat mit der Formel $\text{NiSO}_4 \cdot (\text{H}_2\text{O})_6$, oder als Heptahydrat ($\text{NiSO}_4 \cdot (\text{H}_2\text{O})_7$). Nickelchlorid als Hexahydrat = $\text{NiCl}_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_6$ dient zur Verbesserung der Anodenlöslichkeit sowie als Leitsalz der Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit des Elektrolyten. Borsäure (H_3BO_3) dient als chemischer Puffer zur Aufrechterhaltung des pH-Wertes.

Das Nickelsulfat dissoziiert in wässriger Lösung in Ni^{2+} und $(\text{SO}_4)^{2-}$ Ionen. Die Ni^{2+} -Ionen werden an der Kathode zu Nickel reduziert, welches sich dort als metallischer Überzug abscheidet. Die Sulfat-Ionen wandern zur Kupfer-Anode und bilden dort unter Verbrauch der Anode neues Kupfersulfat, welches in Lösung geht.

Abscheidung von Nickel mit Chloridelektrolyten

Reine (d. h. Nickelsulfat-freie) Chloridelektrolyte bestehen aus $\text{NiCl}_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_6$ als Metalllieferant und Leitsalz in einem, und Borsäure als chemischer Puffer.

Verglichen mit Nickelsulfat-Elektrolyten erlauben Nickelchlorid-Bäder wegen ihrer höheren elektrischen Leitfähigkeit eine Abscheidung mit geringerer elektrischer Leistung. Jedoch sind Nickelchlorid-Bäder teurer und korrosiver als Nickelsulfat-Bäder.

Abscheidung von Nickel mit Nickelsulfamat

Hauptmetalllieferant dieses Elektrolyten ist Nickelsulfamat-4-hydrat mit der Formel $\text{Ni}(\text{SO}_3\text{NH}_2)_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_4$, Nickelchlorid = NiCl_2 zur Verbesserung der Anodenlöslichkeit und Borsäure (H_3BO_3) als chemischer Puffer zur Aufrechterhaltung des pH-Wertes.

Das Nickelsulfamat dissoziiert in wässriger Lösung in Ni^{2+} und $(\text{SO}_3\text{NH}_2)^-$ Ionen. Die Ni^{2+} -Ionen werden an der Kathode zu Nickel reduziert, welches sich dort als metallischer Überzug abscheidet. Die Sulfamat-Ionen wandern zur Nickel-Anode und bilden dort unter Verbrauch der Anode neues Nickelsulfamat.

Nickelsulfamat besitzt eine sehr hohe Wasserlöslichkeit, so dass damit sehr metallreiche Bäder mit hohen Stromdichten und Abscheideraten angesetzt werden können, welche dennoch Nickelschichten mit guten mechanischen Eigenschaften erzielen. Die Verwendung eines Nickelsulfamat-basierten Elektrolyten ist besonders dann empfehlenswert, wenn gleichzeitig dicke und spannungsfreie Schichten benötigt werden. Die dabei abgeschiedene Nickelschicht ist sehr duktil und bietet einen guten Schutz gegenüber Verschleiß und Korrosion.

Unser Nickelbad NB SEMIPLATE AU 100 basiert aus diesen Gründen auf einem Elektrolyten auf Basis von Nickelsulfamat.

Voraussetzungen für glänzende Nickelschichten

Welche Oberflächeneigenschaften zu einer glänzenden (Nickel-)Oberfläche führen ist auch für Nickel noch nicht gänzlich verstanden, auch wenn eine möglichst glatte, feinkristalline Struktur eine große Rolle dabei spielt. Eine feinkristalline Oberfläche erfordert, dass zum einen eine hohe Keimbildungsdichte besteht, andererseits das Wachstum dieser Keime zu größeren Kristalliten unterdrückt wird.

Glanzträger (primäre Glanzmittel)

Zusätze wie Sulfonamide, Sulfonimide und Sulfonsäuren bewirken eine Kornverfeinerung der wachsenden Nickelschicht, welche eine tendenziell hohe Duktilität aufweist.

Glanzbildner und Einebner (sekundäre Glanzmittel)

Diese Zusätze ermöglichen über einebnende Effekte hochglänzende Schichten von allerdings geringerer Duktilität.

Galvanische Abscheidung von Zinn

Abscheidung von Zinn mit Zinn(II)-sulfat

Hierbei besteht der Elektrolyt aus einer schwefelsauren Zinn(II)-sulfat Lösung. Das Zinnsulfat dissoziiert in wässriger Lösung in Sn^{2+} und $(\text{SO}_4)^{2-}$ -Ionen. Die Sn^{2+} -Ionen werden an der Kathode zu Zinn reduziert, welches sich dort als metallischer Überzug abscheidet. Die Sulfat-Ionen wandern zur Zinn-Anode und bilden dort unter Verbrauch der Anode neues Zinnsulfat, welches in Lösung geht.

Abscheidung von Zinn mit Zinn(II)-methansulfonat

Hierbei besteht der Elektrolyt aus Methansulfonsäure ($\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$) und ihrem Salz, Zinn(II)-methansulfonat. Dieses Salz dissoziiert in wässriger Lösung in Sn^{2+} und $(\text{CH}_3\text{SO}_3)^-$ -Ionen. Die Sn^{2+} -Ionen werden an der Kathode zu Zinn reduziert, welches sich dort als metallischer Überzug abscheidet. Die Methansulfonat-Ionen wandern zur Zinn-Anode und bilden dort unter Verbrauch der Anode neues Zinn(II)-methansulfonat, welches in Lösung geht.

Unser Zinnelektrolyt NB SEMIPLATE SN 100 basiert auf Zinn(II)-methansulfonat und Methansulfonsäure.

Galvanische Abscheidung von Kupfer

Anwendungsbereiche

In der Elektronik dient die elektrochemische Verkupferung u. a. dem Aufbau von Leiterbahnen bei gedruckten Schaltungen sowie zum Durchkontaktieren.

Alkalische cyanidische Abscheidung von Kupfer

Metallträger ist hierbei Kupfer(I)cyanid (CuCN), welches nicht in Wasser, jedoch in wässrigen Lösungen von NaCN oder KCN löslich ist, wobei sich via $\text{CuCN} + 2 \text{NaCN} \rightarrow \text{Na}_2[\text{Cu}(\text{CN})_3]$ lösliche cyanidische Komplexe bilden. Daraus abgeschiedene Kupferschichten zeigen eine sehr gute Haftfestigkeit.

Schwefelsaure Abscheidung von Kupfer

Als Alternative zum hochgiftigen Kupfer(I)cyanid besteht der Elektrolyt für die schwefelsaure Abscheidung aus in verdünnter Schwefelsäure gelöstem Kupfersulfat (CuSO_4). Das Kupfersulfat dissoziiert in wässriger Lösung in Cu^{2+} und $(\text{SO}_4)^{2-}$ -Ionen. Die Cu^{2+} -Ionen werden an der Kathode zu Kupfer reduziert, welches sich dort als metallischer Überzug abscheidet. Die Sulfat-Ionen wandern zur Kupfer-Anode und bilden dort unter Verbrauch der Anode neues Kupfersulfat, welches in Lösung geht.

Die Schwefelsäure dient nicht nur der Leitfähigkeitsverbesserung des Elektrolyten, sondern ist die Voraussetzung für eine zusammenhängende, gleichmäßige Schichtabscheidung.

Unser Nickelbad NB SEMIPLATE CU 100 basiert aus in verdünnter Schwefelsäure gelöstem Kupfersulfat.

Galvanische Abscheidung von Silber

Anwendungsbereiche

In der (Mikro-)Elektronik dienen kommen Silberschichten wegen ihrer guten elektrischen Eigenschaften zum Einsatz: Unter allen Metallen besitzt Silber die höchste elektrische Leitfähigkeit.

Cyanidische Abscheidung von Silber

Da Silbercyanid (AgCN) in Wasser nahezu unlöslich ist, wird dem Elektrolyten Kaliumcyanid (KCN) beigegeben, wodurch die Konzentration freien Cyanids erhöht wird. Je nach der Konzentration freien Cyanids stellen sich Gleichgewichtskonzentrationen der löslichen cyanidischen Komplexe Dicyanoargentat = $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$, Tricyanoargentat = $[\text{Ag}(\text{CN})_3]^{2-}$, und Tetracyanoargentat = $[\text{Ag}(\text{CN})_4]^{3-}$ ein.

Cyanidfreie Abscheidung von Silber

Als Alternative zum hochgiftigen Silbercyanid kommt eine ganze Reihe an weniger- bzw. ungiftigen Komplexbildnern zum Einsatz, wie z. B. Jodid, Sulfit, Ethylendiamin oder Thioharnstoff.

FOTOLACKPROZESSIERUNG IN DER MIKROGALVANIK

An Fotolackmasken für die galvanische Abformung werden hinsichtlich Lackhaftung, Lackprofil und der chemischen Stabilität meist ganz spezifische Anforderungen gestellt. Dieses Kapitel beschreibt, wie sich über die Fotolackprozessierung diesen Anforderungen nachkommen lässt.

Optimal geeignete Fotolacke

Saure und alkalische Beständigkeit der Lackmaske

Die als Lackmatrix aller gängigen AZ[®] und TI Lacke verwendete Phenol und Acrylharze machen diese Fotolacke in sauren Galvanik-Bädern überwiegend stabil, solange es sich nicht um stark oxidierende Medien wie Salpetersäure handelt.

Alkalische Bäder hingegen können eine nicht-quervernetzte (Positiv-)lackmaske ab einem pH-Wert von etwa 10 während der elektrochemischen Abscheidung angreifen, wobei die Lackschädigung oder -unterwanderung von Temperatur und Dauer abhängig sind. Zu beachten ist, dass der im Bad gemessene pH-Wert nicht mit dem am Ort der Metallabscheidung (und damit am Ort der Lackstrukturen) übereinstimmen muss.

Ein Hardbake kann die alkalische Beständigkeit bei Positivlacken erst ab Temperaturen von ca. 140°C erhöhen. Diese liegen über dem Erweichungspunkt aller Positivlacke, wodurch die Lackprofile nach einem solchen Hardbake verrundet und damit für die Galvanik meist nicht mehr geeignet sind.

Quervernetzende Negativlacke wie der AZ[®] nLOF 2000, der AZ[®] 15 nXT oder der AZ[®] 125 nXT besitzen verglichen mit Positivlacken eine deutlich höhere alkalische Stabilität.

Lackhaftung zum Substrat

Durch das Aufquellen von Fotolack kann die Haftung zum Substrat während der galvanischen Abformung nachlassen und Metall die Lackschicht unterwandern und so unterwachsen. Die Lackhaftung kann über die Lackauswahl, dessen Prozessierung sowie die Substratvorbehandlung optimiert werden.

Die Lackserien AZ[®] 1500, 4500, 9200 und ECI 3000 zeigen verglichen mit für trockenchemische Prozesse optimierten Lacken eine grundsätzlich verbesserte Haftung zum Substrat. Quervernetzende Negativlacke wie die AZ[®] nLOF 2000 Serie oder der AZ[®] 15 nXT oder AZ[®] 125 nXT weisen ebenfalls eine sehr gute Haftung auf.

Optimierung der Lackhaftung

Haftschicht

Grundsätzlich ist ein dünner Metallfilm als Haftvermittler gerade für Anwendungen in der Galvanik sehr zu empfehlen, da ohnehin in vielen Fällen eine metallische Saatschicht benötigt wird: Ein wenige nm dünner Titan- oder Chromfilm verbessert die Lackhaftung v. a. im Vergleich mit Gold oder Platin deutlich. Ein solcher dünner Metallfilm kann - falls erforderlich - nach dem Entwickeln auf den freientwickelten Stellen in geeigneten Medien entfernt werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass lateral nicht zu stark unter den Lackfilm geätzt wird, d. h. der Ätzvorgang nicht viel länger als zum Entfernen der frei entwickelten Metallschicht dauert.

Softbake und Hardbake

Optimale Softbakeparameter (für die meisten Standardlacke empfehlen wir 100°C für eine Minute je µm Lackschichtdicke auf der Hotplate, einige Minuten länger bei Ofenprozessen) verbessern ebenfalls die Lackhaftung. Wichtig gerade für dicke Lackschichten ist die Vermeidung eines zu abrupten Abkühlens des Substrats nach dem Softbake um eine Rissbildung in der Fotolackschicht zu verhindern. Ein Backschritt nach dem Entwickeln kann die Lackhaftung zwar verbessern, jedoch liegen im Falle von Positivlacken die dafür notwendigen Temperaturen von 120-140°C meist über dem Erweichungspunkt des verwendeten Lacks was die Lackstrukturen verrundet lässt. Bei Negativlacken kann ein solcher Hardbake ohne die Gefahr der Ver rundung des Lackprofils durchgeführt werden. Allerdings sinkt mit zunehmender Hardbake-Temperatur die spätere Entfernbarkeit der Lackmaske in nasschemischen Medien.

Restlösemittel

Unter üblichen Softbakeparametern getrocknete Fotolackschichten besitzen noch einen Restlösemittelanteil von einigen Prozent. Gelangt das Lösemittel während der Galvanik in das Bad, kann durch diese Verunreinigung die Chemie der Abscheidung gestört werden.

In diesem Fall ist ein intensiverer (d. h. längerer oder heißerer) Softbake zu empfehlen. Bei dicken Lack-schichten, bei welchen auch ein langer Softbake einen rel. hohen Restlösemittelanteil in Substratnähe zu-rücklässt, kann ein Backschritt nach dem Entwickeln hilfreich sein. Um bei der Verwendung von Positivlacken die Lackflanken zu erhalten, sollte dieser höchstens 20 °C unter der Erweichungstemperatur des verwen-deten Fotolacks ausgeführt werden. Bei quervernetzten Negativlacken ist keine nachträgliche Verrundung der Lackstrukturen zu befürchten, allerdings nimmt bei zu hohen Backtemperaturen die Entfernbareit der Lackmaske nach der Galvanik ab.

Optimierung der Haftung des abgeschiedenen Metalls

Entwicklung

Wird der Fotolack mit einem nicht geeigneten Entwickler entwickelt oder nach dem Entwickeln nicht ausrei-chend gespült, können wenige nm dünne, schwer detektierbare Lackrückstände ein optimales Aufwachsen des abgeschiedenen Metalls verhindern.

Zeigen sich derartige Lackrückstände trotz einem ausreichend langen Entwickeln und nachfolgenden Spülen, kann die Verwendung des Entwicklers AZ® 826 MIF (entweder als Ersatz für einen bisher verwendeten Ent-wickler oder als ca. 30 Sekunden-Dip nach dem eigentlichen Entwickeln) durch sein Additiv Abhilfe scha ffen.

Haftvermittler

Falsch applizierte Haftvermittler wie z. B. flüssig aufgebracht HMDS können ebenfalls die Haftung des aufgewachsenen Metalls zur Saatschicht verringern.

Metallorganische Haftvermittler wie TI PRIME können ebenfalls die Haftung des aufgewachsenen Metalls verschlechtern, wenn sie nicht in den freientwickelten Bereichen durch z. B. einen HF Dip entfernt werden.

Lackprofil

Senkrechte Flanken

Werden möglichst senkrechte Kanten gewünscht, empfiehlt sich für wenige µm dicke Fotolackmasken die Positivlacke der AZ® ECI 3000, für 5 - 30 µm dicke Schichten die ebenfalls positiven AZ® 4562 oder AZ® 9260 oder der Negativlack AZ® 15 nXT. Sehr große Lackschichtdicken von 30 - 150 µm mit sehr steilen Flanken erlaubt der positive AZ® 40 XT oder der Negativlack AZ® 125 nXT.

Negative Flanken

Soll die abgeformte Metallstruktur ein positives Profil aufweisen, empfiehlt sich als Lackmaske der AZ® nLOF 2000 Negativlackserie für Schichtdicken bis ca. 20 µm, bei noch größeren Schichtdicken der Negativlack AZ® 15 nXT. Bei beiden Lacken lässt sich über die Belichtungs-dosis und den post exposure bake die Form des Unterschnitts über einen großen Bereich einstellen.

ANWENDUNGSBEISPIELE

In diesem letzten Kapitel zur Galvanik möchten wir einige technologische „Highlights“ präsentieren, welche mit den von uns vertrieben Elektrolyten und teilweise auch unseren Fotolacken realisiert wurden. Diese Anwendungsbeispiele und die dazu gezeigten Abbildungen stammen von unserem Kooperationspartner und Hersteller der genannten Elektrolyte NB Technologies (www.nb-technologies.de).

Mikroschalter

Abb. 139 zeigt eine CCD-Mikroskopaufnahme eines thermischen, lateral aktuierten, bistabilen Mikroschal-ters. Die mechanisch beweglichen Elemente bestehen aus ca 12 µm dicken galvanischem Nickel (Verwende-ter Elektrolyt: NB Semiplatte Ni 100). Die kleinste Abmessung der Ni-Balken ist 4 µm. Die Kontaktelemente bestehen aus Gold (Elektrolyt: NB Semiplatte Au 100).

Die transparenten Elemente bestehen aus einem quervernetzten Negativlack und dienen der mechanischen Verbindung.

Wesentliche Anforderungen an die Galvanik bestehen hinsichtlich der Vermeidung von Stressgradienten, der Dickenuniformitäten, insbesondere bei unterschiedlichen Strukturgrößen, und der Dauerstabilität der

Eigenschaften unter mechanischer und thermischer Belastung.

Schön zu erkennen sind die unterschiedlichen Ebenen durch die Überwachung des Nickels als Verbindung zu Goldstrukturen sowie die Überwachung der Nickelbalken über die Kante der Opferschicht (aus ca. 4 µm dickem Cu, bereits entfernt). Diese unterschiedlichen Ebenen stellen eine hohe Anforderung an den Lackprozess (hier AZ 9260).

Abb. 140 zeigt mehrere REM-Aufnahmen eines thermischen Aktors und eines Kontaktes eines Mikroschalters.

Mechanische Elemente bestehen aus Glanznickel (Elektrolyt: NB Semiplate Ni 100). Für die Erzielung der vertikalen Auslenkung wird durch die Abscheideparameter ein Stressgradient in der Nickelschicht eingestellt.

Auch hier ist die Stabilität der Kornstruktur von fundamentaler Bedeutung. Der Kontaktbereich besteht aus Glanzgold (Elektro-

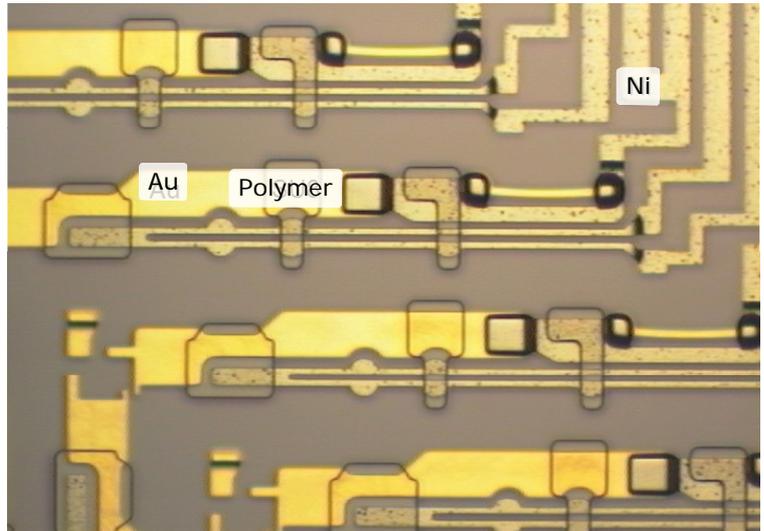


Abb. 139: CCD-Mikroskopaufnahme eines thermischen, lateral aktuerbaren, bistabilen Mikroschalters.

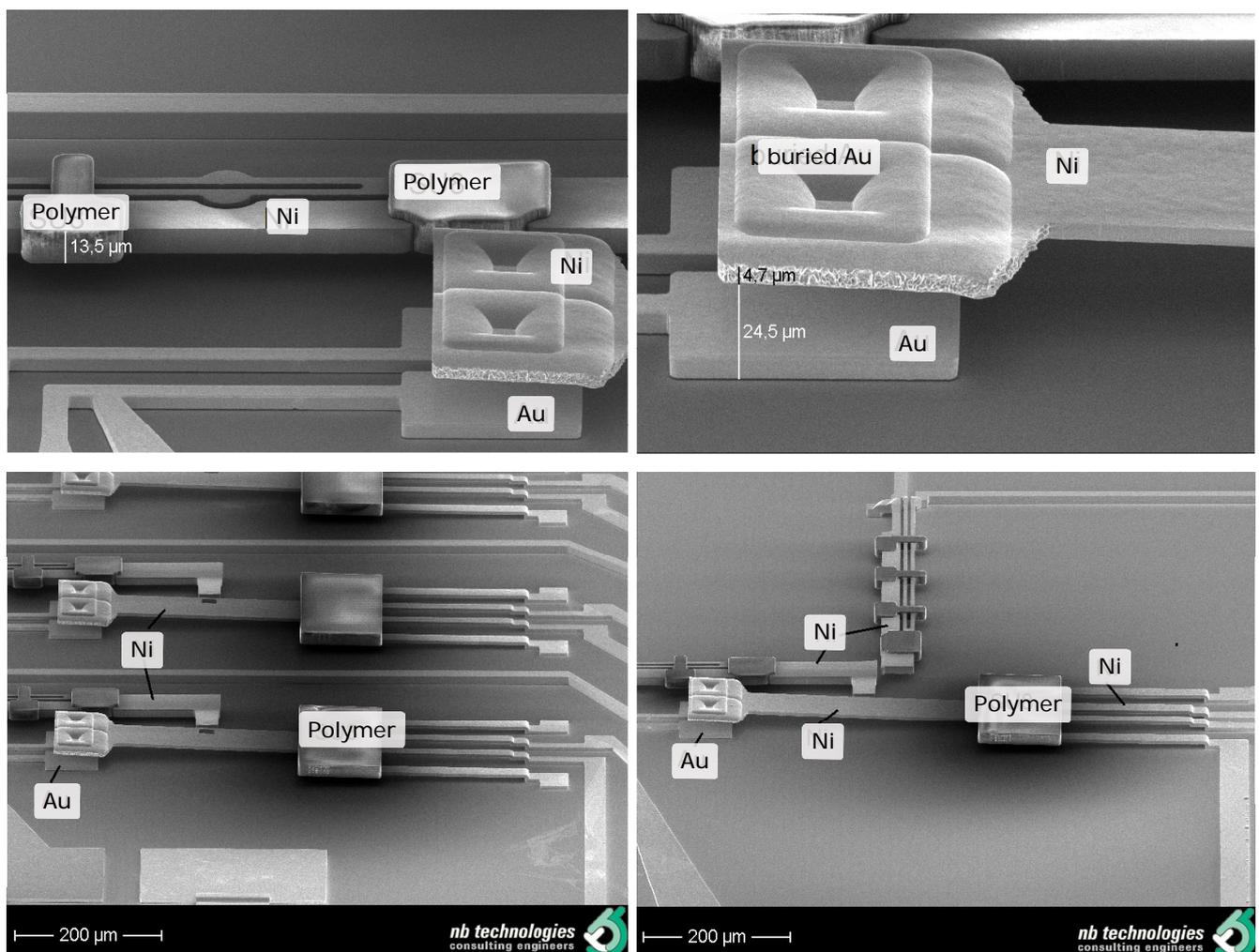


Abb. 140: REM-Aufnahmen eines thermischen Aktors und eines Kontaktes eines Mikroschalters, hergestellt unter Verwendung der Gold- und Kupfer-Elektrolyten NB Semiplate Au 100 und NB Semiplate Cu 100

lyt: NB Semiplatte Au 100). Zur Freilegung der beweglichen Elemente wurden Opferschichten aus Kupfer (Elektrolyt: NB Semiplatte Cu 100) mit sehr guter Dickenuniformität und Oberflächenqualität eingesetzt.

Zur elektrischen Trennung und mechanischer Verbindung werden Elemente aus quervernetztem Negativlack eingesetzt.

Abb. 144 zeigt die REM-Aufnahme der Aktor-Struktur des Mikroschalters aus Nickel (Elektrolyt: NB Semiplatte Ni 100). Die schmalen Nickelbalken wurden auf einer Opferschicht aus Kupfer (Elektrolyt: NB Semiplatte Cu 100) mit guter Dickenuniformität und hoher Oberflächengüte abgeschieden.

Die Schichtdicke der Opferschicht beträgt hier ca 3 µm. Gut erkennbar ist die Überwachsung der Nickelstruktur über die Kante der Opferschicht. Die Breite der Nickelbalken beträgt etwa 4 µm, die Kantensteilheit ist nahezu 90°. Solche Verhältnisse und Anforderungen stellen hohe Ansprüche an den Lackprozess, wobei hier ein Lackprozess mit 18 µm AZ® 9260 bei einem Aspektverhältnis von 4,5 mit nahezu senkrechten Seitenwänden über eine Kupferkante von ca 3 µm optimiert wurde. Dabei erfordern nicht zuletzt die unterschiedlich starken Reflexionen der Untergründe (Kupferopferschicht und Goldstartschicht) eine sorgsame Anpassung der Belichtungsparameter.

Abb. 141 zeigt die Schnittansicht einer strukturierten Nickelabscheidung (FIB-Schnitt). Das Nickel wurde ohne Glanzzusatz prozessiert. Zu erkennen ist die Kornstruktur und das typische Stängelwachstum. Deutlich erkennbar ist auch die kleinere Kornstruktur im unteren Schichtbereich,

Abb. 141: (rechts) Schnittansicht einer strukturierten Nickelabscheidung (FIB-Schnitt)

Abb. 142: (unten) REM-Aufnahme eines lateralen Mikrokontaktes aus Gold (NB Semiplatte Au 100) auf Kupferopferschicht (NB Semiplatte Cu 100)

Abb. 143: (rechts unten) REM-Aufnahme des Kontaktbereiches des Mikroschalters.

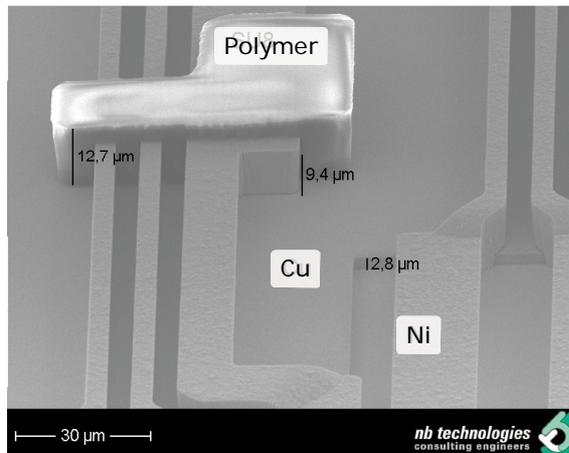
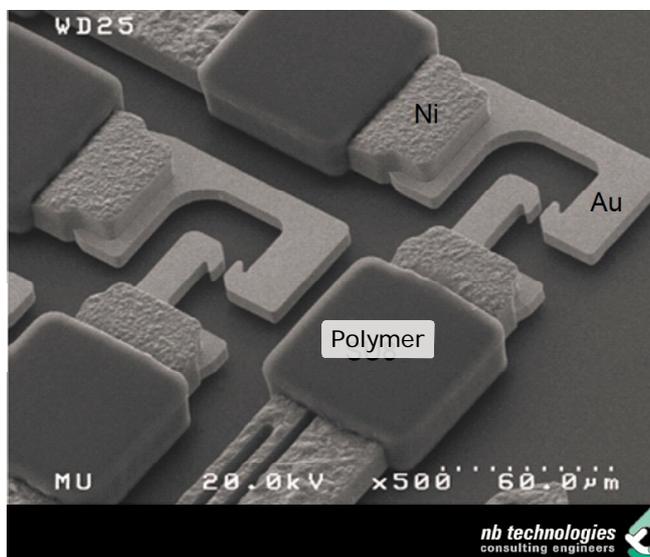
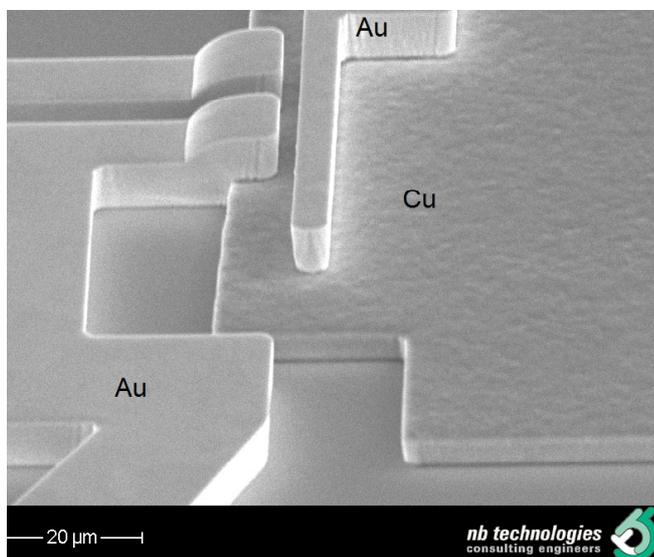
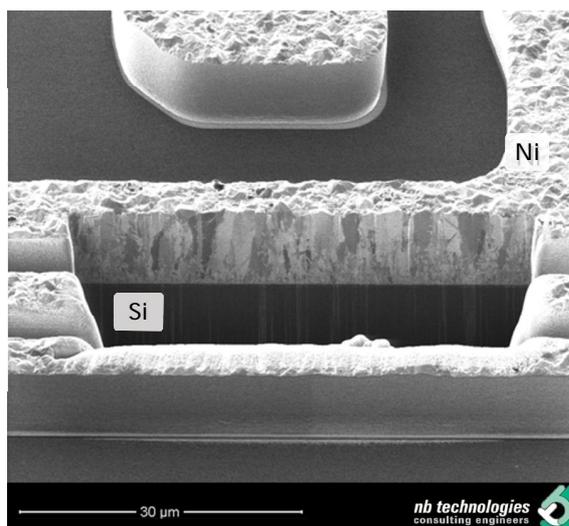


Abb. 144: REM-Aufnahme der Aktor-Struktur des Mikroschalters aus Nickel (Elektrolyt: NB Semiplatte Ni 100)



wo die Anpassung an den Untergrund stattfindet.

In manchen Anwendungen ist hierauf spezielles Augenmerk zu richten. Eigenschaften wie Glanz, Stress und Kornwachstum lassen sich in bestimmten Grenzen durch Erganzer, aber auch durch die Prozessführung beeinflussen. Eine Beimischung von Mn beispielsweise schützt die Kornstruktur vor Veränderungen bei mechanischer oder thermischer Belastung. Eine feine Kornstruktur kann für schmale Federlemente, wie hier mit 4 μm Breite, bevorzugt werden, allerdings nur, wenn gewährleistet ist, dass die Körner stabil sind und sich nicht unter Belastung vergrößern oder verändern.

Abb. 142 zeigt die REM-Aufnahme eines lateralen Mikrokontaktes aus Gold (NB Semiplatte Au 100) auf Kupferopferschicht (NB Semiplatte Cu 100). Die Kupferopferschicht zeigt eine sehr gute Dickenuniformität und Oberflächengüte. Bemerkenswert ist, dass die zwar geringe, aber erkennbare höhere Rauheit der Opferschicht durch die Goldabscheidung wieder eingeebnet wird.

Abb. 143 zeigt die REM-Aufnahme des Kontaktbereiches des Mikroschalters. Die Kontakte bestehen aus Glanzgold (NB Semiplatte Au 100). Im Bedarfsfall kann der NB Semiplatte Au 100 mit einem Palladiumzusatz modifiziert werden (zu NB Semiplatte AuPd 100), um die Kontakteigenschaften zu verbessern.

Das Nickel des thermischen Aktors (NB Semiplatte Ni 100) ist mit dem Goldkontakt durch Überwachsung verbunden. Das Nickel wird im Hinblick auf den Haftverbund mit dem Polymer mit wenig Glanz prozessiert. Nichtsdestotrotz wird eine gewisse Feinheit der Korngröße im Hinblick auf die mechanischen Eigenschaften im Federelement mit geringer Breite von nur 4 μm (Abb. 142) prozessiert.

Mehrlagenverdrahtung auf dünnen Folien.

Abb. 145: NB Semiplatte Au 100 wird eingesetzt für die Metallisierung von Mehrlagenverdrahtung in Verbindung mit dünnen Folien. Hier dargestellt sind 12 μm dicke Polyimidfolien mit zwei Metallisierungsebenen. Besondere Anforderungen bestehen hier im Hinblick auf Haftfestigkeit, Schichtstress, Stabilität der Eigenschaften und Einebnung von Topographien.

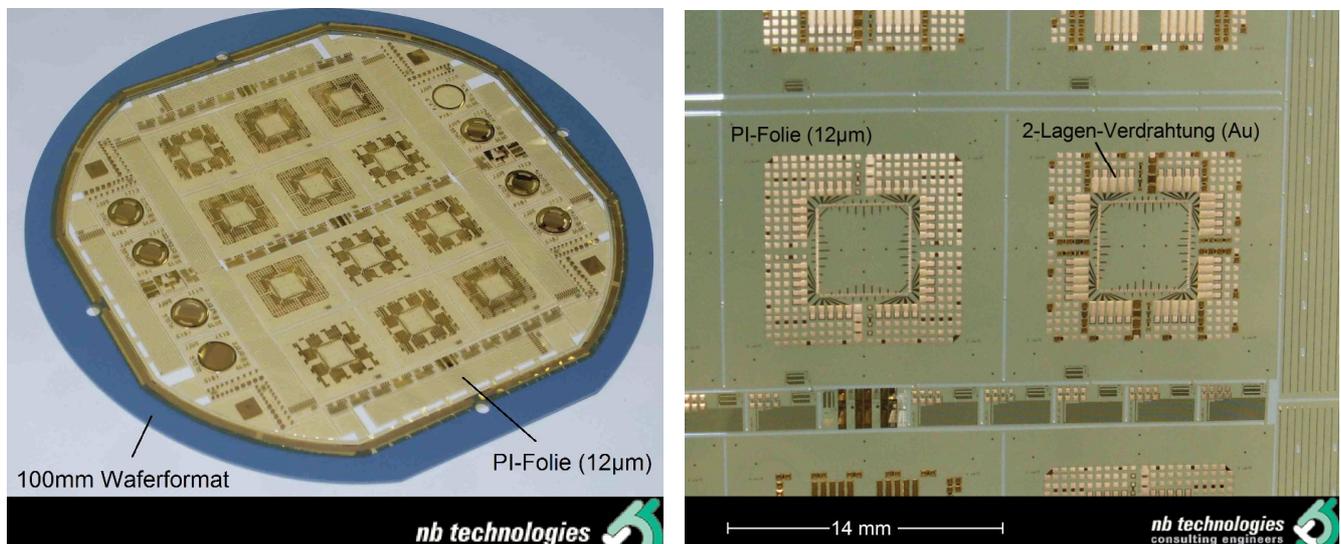


Abb. 145: 12 μm dicke Polyimidfolien mit zwei Metallisierungsebenen

Unsere Fotolacke: Anwendungsbereiche und Kompatibilitäten

Anwendungsbereiche ¹		Lackserie	Fotolacke	Schichtdicke ²	Empfohlene Entwickler ³	Empfohlene Remover ⁴
Positiv	Hohe Haftung für nasschemisches Ätzen, kein Fokus auf senkrechte Lackflanken	AZ [®] 1500	AZ [®] 1505 AZ [®] 1512 HS AZ [®] 1514 H AZ [®] 1518	≈ 0,5 µm ≈ 1,0 - 1,5 µm ≈ 1,2 - 2,0 µm ≈ 1,5 - 2,5 µm	AZ [®] 351B, AZ [®] 326 MIF, AZ [®] 726 MIF, AZ [®] Developer	AZ [®] 100 Remover TechniStrip [®] P1316 TechniStrip [®] P 1331
		AZ [®] 4500	AZ [®] 4533 AZ [®] 4562	≈ 3 - 5 µm ≈ 5 - 10 µm	AZ [®] 400K, AZ [®] 326 MIF, AZ [®] 726 MIF, AZ [®] 826 MIF	
		AZ [®] P4000	AZ [®] P4110 AZ [®] P4330 AZ [®] P4620 AZ [®] P4903	≈ 1 - 2 µm ≈ 3 - 5 µm ≈ 6 - 20 µm ≈ 10 - 30 µm	AZ [®] 400K, AZ [®] 326 MIF, AZ [®] 726 MIF, AZ [®] 826 MIF	
		AZ [®] PL 177	AZ [®] PL 177	≈ 3 - 8 µm	AZ [®] 351B, AZ [®] 400K, AZ [®] 326 MIF, AZ [®] 726 MIF, AZ [®] 826 MIF	
	Sprühbelackung	AZ [®] 4999		≈ 1 - 15 µm	AZ [®] 400K, AZ [®] 326 MIF, AZ [®] 726 MIF, AZ [®] 826 MIF	
	Tauchbelackung	MC Dip Coating Resist		≈ 2 - 15 µm	AZ [®] 351B, AZ [®] 400K, AZ [®] 326 MIF, AZ [®] 726 MIF, AZ [®] 826 MIF	
	Steile Flanken, hohe Auflösung und großes Aspektverhältnis für z. B. Trockenätzen und Galvanik	AZ [®] ECI 3000	AZ [®] ECI 3007 AZ [®] ECI 3012 AZ [®] ECI 3027	≈ 0,7 µm ≈ 1,0 - 1,5 µm ≈ 2 - 4 µm	AZ [®] 351B, AZ [®] 326 MIF, AZ [®] 726 MIF, AZ [®] Developer	
		AZ [®] 9200	AZ [®] 9245 AZ [®] 9260	≈ 3 - 6 µm ≈ 5 - 20 µm	AZ [®] 400K, AZ [®] 326 MIF, AZ [®] 726 MIF	
Hoher Erweichungspunkt und hochauflösend für z. B. Trockenätzen	AZ [®] 701 MiR	AZ [®] 701 MiR (14 cPs) AZ [®] 701 MiR (29 cPs)	≈ 0,8 µm ≈ 2 - 3 µm	AZ [®] 351B, AZ [®] 326 MIF, AZ [®] 726 MIF, AZ [®] Developer		
Positiv (chem. verstärkt)	Steile Flanken, hohe Auflösung und großes Aspektverhältnis für z. B. Trockenätzen und Galvanik	AZ [®] XT	AZ [®] 12 XT-20PL-05 AZ [®] 12 XT-20PL-10 AZ [®] 12 XT-20PL-20 AZ [®] 40 XT	≈ 3 - 5 µm ≈ 6 - 10 µm ≈ 10 - 30 µm ≈ 15 - 50 µm	AZ [®] 400K, AZ [®] 326 MIF, AZ [®] 726 MIF	AZ [®] 100 Remover TechniStrip [®] P1316 TechniStrip [®] P1331
		AZ [®] IPS 6050		≈ 20 - 100 µm		
Image reversal	Hoher Erweichungspunkt und unterschrittene Lackprofile für Lift-off	AZ [®] 5200	AZ [®] 5209 AZ [®] 5214	≈ 1 µm ≈ 1 - 2 µm	AZ [®] 351B, AZ [®] 326 MIF, AZ [®] 726 MIF	TechniStrip [®] Micro D2 TechniStrip [®] P1316 TechniStrip [®] P1331
		TI	TI 35ESX TI xLift-X	≈ 3 - 4 µm ≈ 4 - 8 µm		
Negativ (quervernetzend)	Unterschnittene Lackprofile und dank Quervernetzung kein thermisches Erweichen für Lift-off	AZ [®] nLOF 2000	AZ [®] nLOF 2020 AZ [®] nLOF 2035 AZ [®] nLOF 2070	≈ 1,5 - 3 µm ≈ 3 - 5 µm ≈ 6 - 15 µm	AZ [®] 326 MIF, AZ [®] 726 MIF, AZ [®] 826 MIF	TechniStrip [®] NI555 TechniStrip [®] NF52 TechniStrip [™] MLO 07
		AZ [®] nLOF 5500	AZ [®] nLOF 5510	≈ 0,7 - 1,5 µm		
	Hohe Haftung, steile Lackflanken und große Aspektverhältnisse für z. B. Trockenätzen und Galvanik	AZ [®] nXT	AZ [®] 15 nXT (115 cPs) AZ [®] 15 nXT (450 cPs)	≈ 2 - 3 µm ≈ 5 - 20 µm	AZ [®] 326 MIF, AZ [®] 726 MIF, AZ [®] 826 MIF	
AZ [®] 125 nXT			≈ 20 - 100 µm	AZ [®] 326 MIF, AZ [®] 726 MIF, AZ [®] 826 MIF		

¹ Theoretisch können alle Lacke für nahezu alle Anwendungen eingesetzt werden. Mit dem Anwendungsbereich sind hier die besonderen Eignungen der jeweiligen Lacke gemeint.
² Mit Standardequipment unter Standardbedingungen erzielbare und prozessierbare Lackschichtdicke. Manche Lacke können für geringere Schichtdicken verdünnt werden, mit entsprechendem Mehraufwand sind auch dickere Lackschichten erziel- und prozessierbar.
³ Metallionenfremde (MIF-) Entwickler sind deutlich teurer und - dann sinnvoll, wenn metallionenfremde entwickelt werden muss

Unsere Entwickler: Anwendungsbereiche und Kompatibilitäten

Anorganische Entwickler

(typischer Bedarf bei Standard-Prozessen: ca. 20 L Entwickler je L Fotolack)

AZ[®] Developer basiert auf Na-Phosphat und Na-Metasilikat, ist auf minimalen Aluminiumabtrag optimiert und wird 1 : 1 verdünnt in DI-Wasser für hohen Kontrast bis unverdünnt für hohe Entwicklungsraten eingesetzt. Der Dunkelabtrag ist verglichen mit anderen Entwicklern etwas höher.

AZ[®] 351B basiert auf gepufferter NaOH und wird üblicherweise 1 : 4 mit Wasser verdünnt angewandt, für Dicklacke auf Kosten des Kontrasts bis ca. 1 : 3

AZ[®] 400K basiert auf gepufferter KOH und wird üblicherweise 1 : 4 mit Wasser verdünnt angewandt, für Dicklacke auf Kosten des Kontrasts bis ca. 1 : 3

AZ[®] 303 speziell für den AZ[®] 111 XFS Fotolack basiert auf KOH / NaOH und wird üblicherweise 1 : 3 - 1 : 7 mit Wasser verdünnt angewandt, je nach Anforderung an Entwicklungsrate und Kontrast.

Metallionenfremde Entwickler (TMAH-basiert)

(typischer Bedarf bei Standard-Prozessen: ca. 5 - 10 L Entwicklerkonzentrat je L Fotolack)

AZ[®] 326 MIF ist eine 2.38 %ige wässrige TMAH- (TetraMethylAmmoniumHydroxid) Lösung.

AZ[®] 726 MIF ist 2.38 % TMAH in Wasser, mit zusätzlichen Netzmitteln zur raschen und homogenen Benetzung des Substrates z. B. für die Puddle-Entwicklung.

AZ® 826 MIF ist 2.38 % TMAH in Wasser, mit zusätzlichen Netzmitteln zur raschen und homogenen Benetzung des Substrates z. B. für die Puddle-Entwicklung und weiteren Additiven zur Entfernung schwer löslicher Lackbestandteile (Rückstände bei bestimmten Lackfamilien), allerdings auf Kosten eines etwas höheren Dunkelabtrags.

Unsere Remover: Anwendungsbereiche und Kompatibilitäten

AZ® 100 Remover ist ein Amin-Lösemittel Gemisch und Standard-Remover für AZ® und TI Fotolacke. Zur Verbesserung seiner Performance kann AZ® 100 Remover auf 60 - 80°C erhitzt werden. Da der AZ® 100 Remover mit Wasser stark alkalisch reagiert eignet er sich für diesbezüglich empfindliche Substratmaterialien wie z. B. Cu, Al oder ITO nur wenn eine Kontamination mit Wasser ausgeschlossen werden kann.

TechniStrip® P1316 ist ein Remover mit sehr starker Lösekraft für Novolak-basierte Lacke (u. a. alle AZ® Positivlacke), Epoxy-basierte Lacke, Polyimide und Trockenfilme. Bei typischen Anwendungstemperaturen um 75°C kann TechniStrip® P1316 auch z. B. durch Trockenätzen oder Ionenimplantation stärker quervernetzte Lacke rückstandsfrei auflösen. TechniStrip® P1316 kann auch im Sprühverfahren eingesetzt werden. Nicht kompatibel mit Au oder GaAs.

TechniStrip® P1331 ist im Falle alkalisch empfindlicher Materialien eine Alternative zum TechniStrip® P1316. Nicht kompatibel mit Au oder GaAs.

TechniStrip® NI555 ist ein Stripper mit sehr starker Lösekraft für Novolak-basierte Negativlacke wie dem AZ® 15 nXT und der AZ® nLOF 2000 Serie und sehr dicke Positivlacken wie dem AZ® 40 XT. TechniStrip® NI555 wurde dafür entwickelt, auch quervernetzte Lacke nicht nur abzulösen, sondern rückstandsfrei aufzulösen. Dadurch werden Verunreinigungen des Beckens und Filter durch Lackpartikel und -häutchen verhindert, wie sie bei Standard-Strippern auftreten können. Nicht kompatibel mit GaAs.

TechniClean™ CA25 ist ein Remover für post etch residue (PER) removal. Äußerst effizient beim selektiven Entfernen organo-metallischer Oxide von Al, Cu, Ti, TiN, W und Ni.

TechniStrip™ NF52 ist ein Sehr effizienter Remover für Negativlacke (Flüssiglacke als auch Trockenfilme). Durch seine Zusammensetzung und speziellen Additive kompatibel mit Metallen üblicherweise eingesetzt für BEOL interconnects oder WLP bumping.

TechniStrip™ Micro D2 ist ein Vielseitig einsetzbarer Stripper für Lift-off Prozesse oder generell dem Auflösen von Positiv- und Negativlacken. Seine Zusammensetzung zielt auf eine verbesserte Kompatibilität zu vielen Metallen sowie III/V Halbleitern.

TechniStrip™ MLO 07 Hoch-effizienter Remover für Positiv- und Negativlacke eingesetzt in den Bereichen IR, III/V, MEMS, Photonic, TSV mask und solder bumping. Kompatibel zu Cu, Al, Sn/Ag, Alumina und einer Vielzahl organischer Substrate.

Unsere Wafer und ihre Spezifikationen

Silicium-, Quarz-, Quarzglas und Glaswafer

Silicium-Wafer werden aus über das Czochralski- (CZ-) oder Floatzone- (FZ-) Verfahren hergestellten Einkristallen gefertigt. Die deutlich teureren FZ-Wafer sind in erster Linie dann sinnvoll, wenn sehr hochohmige Wafer (> 100 Ohm cm) gefordert werden welche über das CZ-Verfahren nicht machbar sind.

Quarzwafer bestehen aus einkristallinem SiO₂, Hauptkriterium ist hier die Kristallorientierung bzgl. der Waferoberfläche (z. B. X-, Y-, Z-, AT- oder ST-Cut)

Quarzglaswafer bestehen aus amorphem SiO₂. Sog. JGS2-Wafer sind im Bereich von ca. 280 - 2000 nm Wellenlänge weitgehend transparent, die teureren JGS1-Wafer bei ca. 220 - 1100 nm.

Unsere Glaswafer bestehen wenn nicht anders angegeben aus im Floatverfahren hergestelltem Borosilikatglas.

Spezifikationen

Für alle Wafer relevant sind Durchmesser, Dicke und Oberfläche (1- oder 2-seitig poliert). Bei Quarzglaswafern ist die Frage nach dem Material (JGS1 oder JGS2) zu klären, bei Quarzwafern die Kristallorientierung. Bei Silicium-Wafern gibt es neben der Kristallorientierung (<100> oder <111>) die Parameter Dotierung (n- oder p-Typ) sowie die elektrische Leitfähigkeit (in Ohm cm)

Prime- Test- und Dummy-Wafer

Bei Silicium-Wafern gibt neben dem üblichen „Prime-grade“ auch „Test-grade“ Wafer, die sich meist nur in einer etwas breiteren Partikelspezifikation von Prime-Wafern unterscheiden. „Dummy-Wafern“ erfüllen aus unterschiedlichen Gründen (z. B. sehr breite oder fehlenden Spezifizierung bestimmter Parameter, evtl. auch Reclaim-Wafer und solche völlig ohne Partikelspezifikation) weder Prime- noch Test-grade, können jedoch für z. B. Belackungstests oder das Einfahren von Equipment eine sehr preiswerte Alternative sein.

Unsere Silicium-, Quarz-, Quarzglas und Glaswafer

Eine ständig aktualisierte Liste der aktuell verfügbaren Wafer finden Sie hier:

☞ www.microchemicals.com/de/produkte/wafer/waferlist.html

Weitere Produkte aus unserem Portfolio

Galvanik

Elektrolyte und Hilfsstoffe für die elektrochemische Abscheidung von z. B. Gold, Kupfer, Nickel, Zinn oder Palladium: ☞ www.microchemicals.com/de/produkte/galvanik.html

Lösemittel (MOS, VLSI, ULSI)

Aceton, Isopropanol, MEK, DMSO, Cyclopentanon, Butylacetat, u. a.

☞ www.microchemicals.com/de/produkte/loesungsmittel.html

Säuren und Basen (MOS, VLSI, ULSI)

Salzsäure, Schwefelsäure, Salpetersäure, KOH, TMAH, u. a.

☞ www.microchemicals.com/de/produkte/saeuren_basen.html

Ätzmischungen

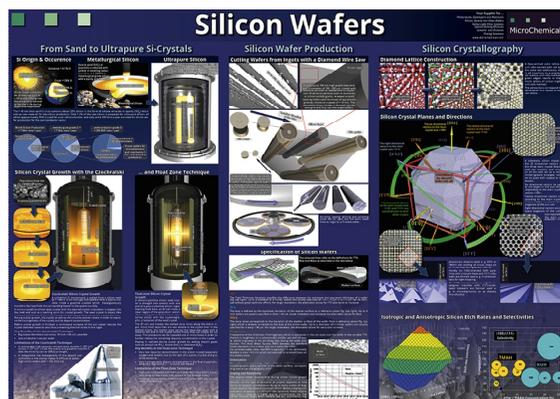
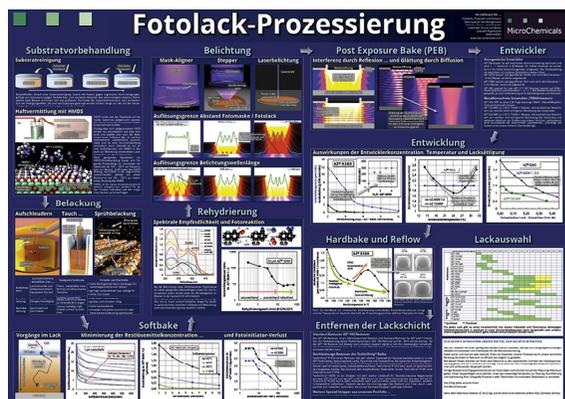
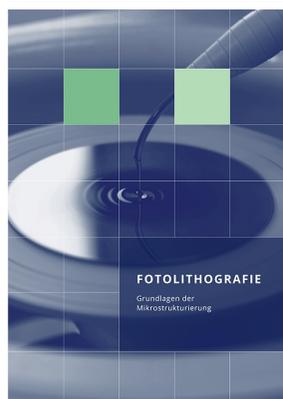
Für z. B. Chrom, Gold, Silicium, Kupfer, Titan, Titan / Wolfram u. a.

☞ www.microchemicals.com/de/produkte/aetzmischungen.html

Weiterführende Informationen

Technische Datenblätter: www.microchemicals.com/de/downloads/technische_datenblaetter/fotolacke.html
Sicherheitsdatenblätter: www.microchemicals.com/de/downloads/sicherheitsdatenblaetter/sicherheitsdatenblaetter.html

Unsere Lithografiebücher und -Poster



Wir sehen es als unsere Aufgabe, Ihnen möglichst alle Aspekte der Mikrostrukturierung anwendungsorientiert verständlich zu machen.

Diesen Anspruch umgesetzt haben wir derzeit mit unserem Buch **Fotolithografie** auf über 200 Seiten, sowie ansprechend gestalteten DIN A0 **Postern** für Ihr Büro oder Labor.

Beides senden wir Ihnen als unser Kunde gerne gratis zu (ggf. berechnen wir für außereuropäische Lieferungen Versandkosten):

www.microchemicals.com/de/downloads/broschueren.html

www.microchemicals.com/de/downloads/poster.html

Vielen Dank für Ihr Interesse!

Gewährleistungs- und Haftungsausschluss & Markenrechte

Alle in diesem Dokument enthaltenen Informationen, Prozessbeschreibungen, Rezepturen etc. sind nach bestem Wissen und Gewissen zusammengestellt. Dennoch können wir keine Gewähr für die Korrektheit der Angaben übernehmen. Insbesondere bezüglich der Rezepturen für chemische (Ätz-)Prozesse übernehmen wir keine Gewährleistung für die korrekte Angabe der Bestandteile, der Mischverhältnisse, der Herstellung der Ansätze und deren Anwendung. Die sichere Reihenfolge des Mischens von Bestandteilen einer Rezeptur entspricht üblicherweise nicht der Reihenfolge ihrer Auflistung.

Wir garantieren nicht für die vollständige Angabe von Hinweisen auf (u. a. gesundheitliche, arbeitssicherheitstechnische) Gefahren, die sich bei Herstellung und Anwendung der Rezepturen und Prozesse ergeben. Die Angaben in diesem Buch basieren im Übrigen auf unseren derzeitigen Erkenntnissen und Erfahrungen. Sie befreien den Verwender wegen der Fülle möglicher Einflüsse bei Verarbeitung und Anwendung unserer Produkte nicht von eigenen Prüfungen und Versuchen. Eine Garantie bestimmter Eigenschaften oder die Eignung für einen konkreten Einsatzzweck kann aus unseren Angaben nicht abgeleitet werden. Grundsätzlich ist jeder Mitarbeiter dazu angehalten, sich im Zweifelsfall in geeigneter Fachliteratur über die angedachten Prozesse vorab ausreichend zu informieren, um Schäden an Personen und Equipment auszuschließen. Alle hier vorliegenden Beschreibungen, Darstellungen, Daten, Verhältnisse, Gewichte, etc. können sich ohne Vorankündigung ändern und stellen nicht eine vertraglich vereinbarte Produktbeschaffenheit dar. Etwaige Schutzrechte sowie bestehende Rechtsvorschriften sind vom Verwender unserer Produkte in eigener Verantwortung zu beachten.

Merck, Merck Performance Materials, AZ, the AZ logo, and the vibrant M are trademarks of Merck KGaA, Darmstadt, Germany

MicroChemicals GmbH
Nicolai-Otto-Str. 39
89079, Ulm
Germany

Fon: +49 (0)731 977 343 0
Fax: +49 (0)731 977 343 29
e-Mail: info@microchemicals.net
Internet: www.microchemicals.net