

## Direkt Palladium/Gold (EPAG) auf Kupfer – die neue Oberfläche für anspruchsvolle Elektronik

(Teil 2)

Von Mustafa Oezkoek, Atotech Deutschland GmbH, Berlin, Daniel Tastl, APL Oberflächentechnik GmbH, Lörrach-Hauingen, und Maren Bruder, Atotech Deutschland GmbH, Berlin

Die neue Leiterplattenoberfläche EPAG (Electroless Palladium, Autocatalytic Gold) betritt voraussichtlich im 3. Quartal 2014 den Leiterplattenmarkt und wird dann kommerziell erhältlich sein. Die Ersteinstallation erfolgt bei der APL Oberflächentechnik GmbH in Lörrach. EPAG wird von Atotech unter dem Handelsnamen PallaBond vertrieben. In der Maiausgabe wurde über die Gründe für die Entwicklung der PallaBond (EP/EPAG)-Oberfläche und den Einsatz bei der Firma APL berichtet. Zudem wurden erste Ergebnisse zum Thema Bonden, Thermokompressions-Bonden, Feinstleiter, Hochfrequenz und Löten auf der PallaBond-Oberfläche gezeigt. Im zweiten Teil wird über die Eignung der PallaBond-Oberfläche für Flex-Leiterplatten, die Oberflächentopografie, die Härte, die Porosität, die Schichtdickenverteilung von Palladium und von Gold sowie über die Vorteile des PallaBond-Prozesses berichtet.

### Eignung für flexible Leiterplatten

In Abbildung 1 ist der durchgeführte Biegezyklustest dargestellt. Bei diesem wird eine mit der Oberfläche beschichtete flexible Leiterplatte in eine Testvorrichtung gespannt und in einem Winkel von 135° automatisch zyklisch gebogen. Gemessen wird die

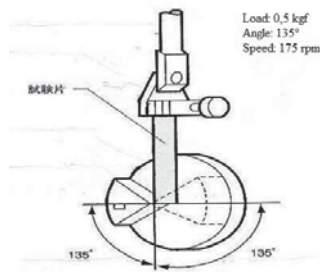


Abb. 1: Skizze und Parameter zum Biegezyklustest

Anzahl der Biegezyklen bis zum Bruch. Auf der Flexleiterplatte befinden sich Leiter, die mit der jeweiligen Oberfläche beschichtet sind. Durch die Biegung wird die Oberfläche strapaziert und mit der zunehmenden Anzahl an Biegezyklen entstehen Risse auf der Oberfläche und im Leiter. Die Biegezyklen werden solange

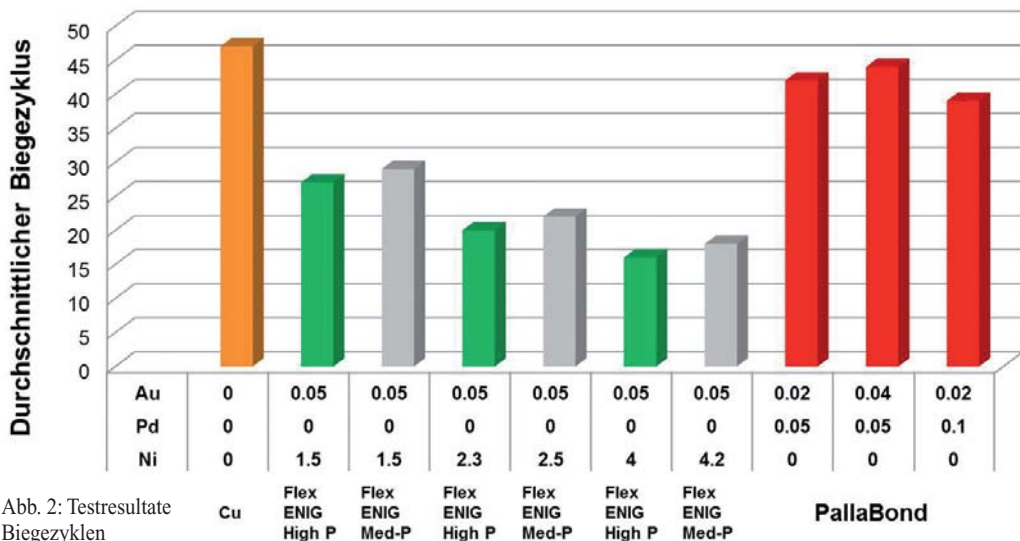


Abb. 2: Testresultate Biegezyklen

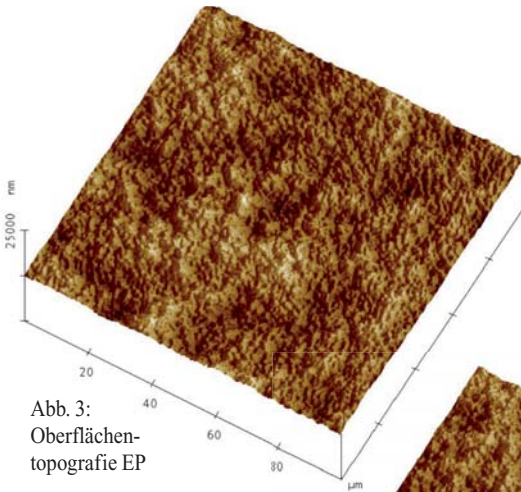


Abb. 3:  
Oberflächen-  
topografie EP

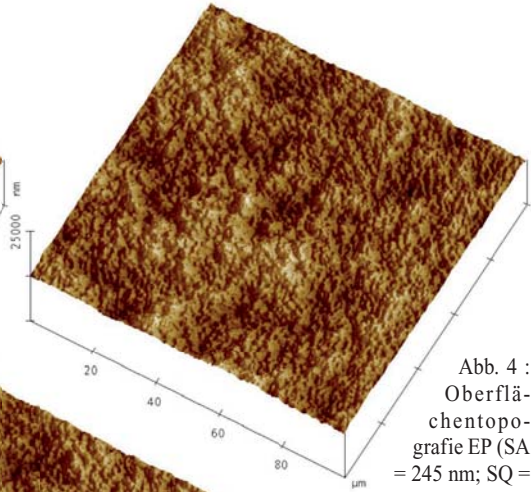


Abb. 4 :  
Oberflächentopo-  
grafie EP (SA  
= 245 nm; SQ =  
306 nm; ST =  
2,27 μm; RSAI =  
9,6 %)

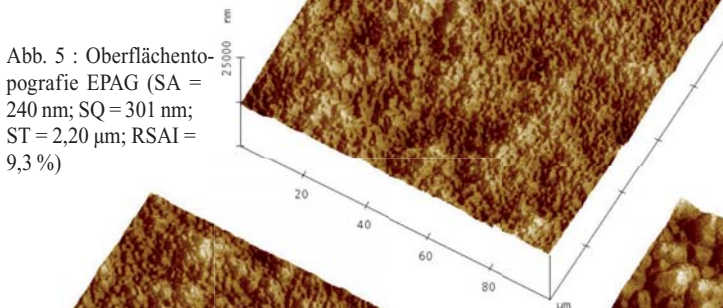


Abb. 5 : Oberflächentopo-  
grafie EPAG (SA =  
240 nm; SQ = 301 nm;  
ST = 2,20 μm; RSAI =  
9,3 %)

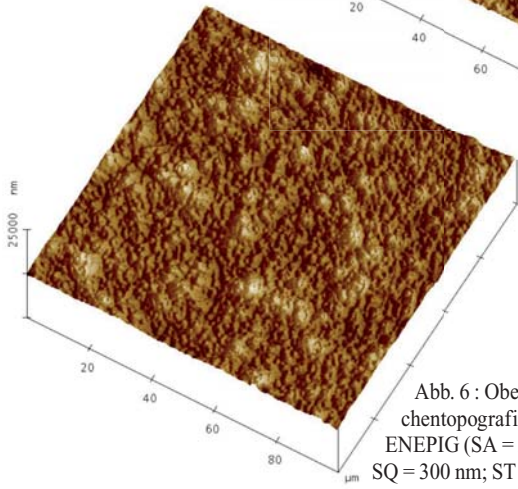


Abb. 6 : Oberflächentopo-  
grafie  
ENEPIG (SA = 230 nm;  
SQ = 300 nm; ST =  
2,32 μm; RSAI = 5,8 %)

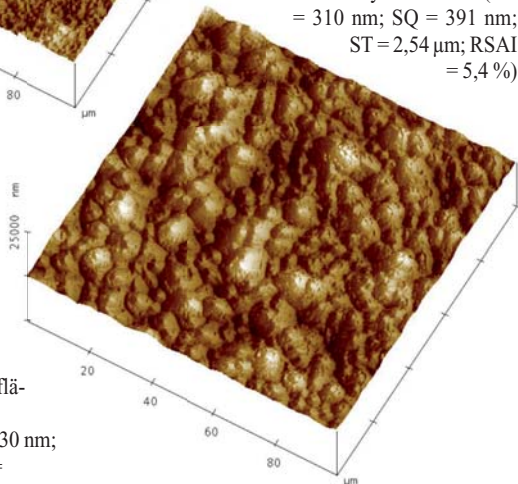


Abb. 7 : Oberflächentopo-  
grafie Elektrolytisch Ni/Au (SA  
= 310 nm; SQ = 391 nm;  
ST = 2,54 μm; RSAI  
= 5,4 %)

durchgeführt bis der Leiter durchtrennt ist. Dabei wird die Anzahl der Biegezyklen erfasst. Die Versuche wurden auch im Vergleich zu flexiblen Chemisch Nickel/Gold-Schichten, welche speziell auf Biegebarkeit optimiert waren, durchgeführt. Standard-ENIG-Schichten würden schon nach weniger als 5 Biegezyklen brechen.

In *Abbildung 2* ist die durchschnittlich erreichte Biegezyklusanzahl von verschiedenen Beschichtungen

auf Leiterplatten angegeben. Als Referenz dient eine Kupferschicht (Cu). Deutlich zu sehen ist, dass Pallad-Bond mit einer dünnen Goldschicht und fehlender Nickelbeschichtung die besten Resultate mit einer Biegezyklusanzahl von 43 im Vergleich zu Nickel/Gold aufweist. Alle anderen Nickel/Gold-Beschichtungen zeigen mäßige, mit steigender Nickelschichtdicke schlechter werdende Ergebnisse. Selbst die dünnste Nickelschicht zeigt ein schlechteres Ergeb-

nis als PallaBond. Das heißt, die PallaBond-Oberfläche ist wesentlich besser als alle Chemisch Nickel/Gold-Schichten, die wir kennen, selbst wenn die Nickel/Gold-Schicht auf Biegsbarkeit optimiert wurde. Die guten Ergebnisse der PallaBond-Oberfläche sind darauf zurück zu führen, dass kein Nickel verwendet wird. Nickel/Phosphor als auch Nickel ist allgemein bekannt dafür, dass es spröder ist im Vergleich zu Palladium, Gold oder Kupfer.

### Oberflächentopografie

Die Oberflächentopografie der PallaBond-Oberflächen EP und EPAG wurde im Vergleich zu ENEPIG und Elektrolytisch Ni/Au mit verschiedenen Methoden ermittelt. Zunächst wurde die Oberfläche mittels eines Standard-Hometesters getestet und dabei die Rauigkeitswerte  $R_A$ ,  $R_Q$ ,  $R_Z$  gemäß DIN EN ISO 4287, DIN EN ISO 13565 und DIN EN 10049 ermittelt. Bei diesem Test fährt eine Spitze über eine definierte Linie auf der Oberfläche und ermittelt das Rauigkeitsprofil. Es wurden je Oberfläche drei Messungen an drei verschiedenen Mustern durchgeführt. Dargestellt sind in der *Tabelle 1* die Mittelwerte. Alle Oberflächen sind auf Leiterplatten der selben Charge mit der selben Kupferoberfläche beschichtet worden.

Wie anhand der Werte erkennbar ist, sind die Rauigkeitskennwerte  $R_A$ ,  $R_Q$ ,  $R_Z$  bei den Oberflächen EP und EPAG geringer als bei ENEPIG sowie bei Elektrolytisch Ni/Au.

**Tab. 1: Rauigkeit (mit Linienmessung ermittelt)**

Oberfläche	$R_A$	$R_Q$	$R_Z$
EP (0,15 $\mu\text{m}$ Pd)	208	258	1,50
EPAG (0,1 $\mu\text{m}$ Pd, 0,1 $\mu\text{m}$ Au)	206	259	1,51
ENEPIG (5 $\mu\text{m}$ Ni, 0,1 $\mu\text{m}$ Pd, 0,06 $\mu\text{m}$ Au)	247	301	1,78
Elektrolytisch Ni/Au (5,5 $\mu\text{m}$ Ni, 0,3 $\mu\text{m}$ Au)	301	378	2,11

Des weiteren wurden RSAI (Relative Surface Area Increase)-Werte mittels eines Interferenzmikroskops ermittelt. Hierbei wird die Fläche in einem definierten Bereich bestimmt und die Fläche in Bezug zu einer komplett glatten Fläche ermittelt. Der RSAI-Wert einer komplett glatten Fläche beträgt somit 0 %. Des weiteren werden die Kenngrößen  $S_A$ ,  $S_Q$  und  $S_Z$  bei der Messung angegeben, welche ähnliche Aussagen treffen wie die bekannten Kenngrößen  $R_A$ ,  $R_Q$ ,  $R_Z$  jedoch mit dem Unterschied, dass diese Größen auf einer Fläche bestimmt werden anstatt auf einer Linie. Man kann anhand der Messwerte erkennen, dass die PallaBond Oberflächen EP als auch EPAG einen deutlich höheren RSAI Wert aufweisen als ENEPIG oder Elektrolytisch Ni/Au.

Für die Ermittlung der Oberflächentopografie wurden auch Aufnahmen mit einem hochauflösendem Lichtmikroskop durchgeführt. In *Abbildung 8* und *Abbildung 9* ist zu sehen, dass sowohl EP als auch EPAG eine signifikant feiner strukturierte Rauigkeit aufweisen als ENEPIG oder Elektrolytisch Ni/Au. Bei ENEPIG als auch bei Elektrolytisch Ni/Au ist die typische Nickelknospenbildung zu sehen, welche die

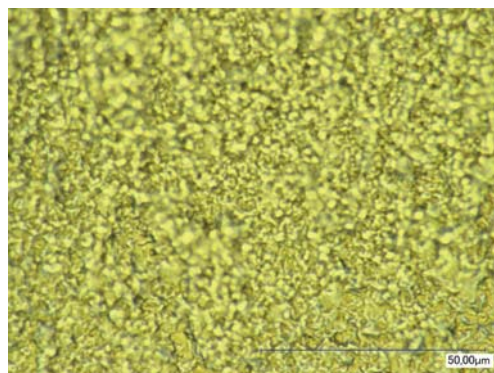
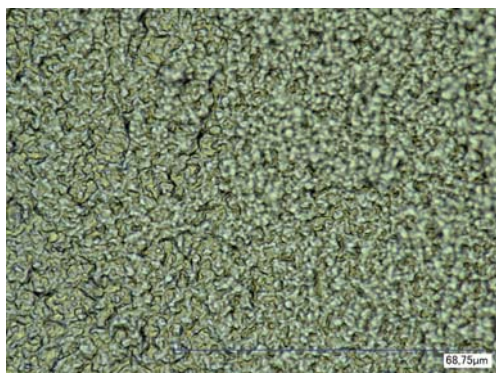


Abb. 8: Oberflächentopografie (Lichtmikroskop) von EP (links) und EPAG (rechts)

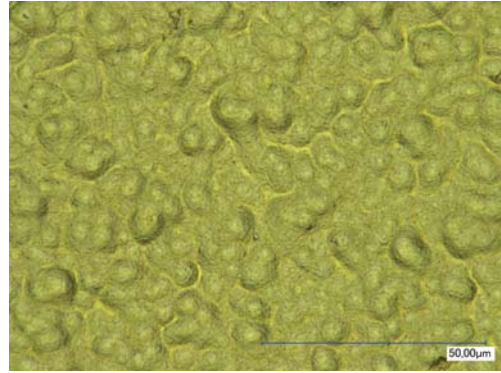
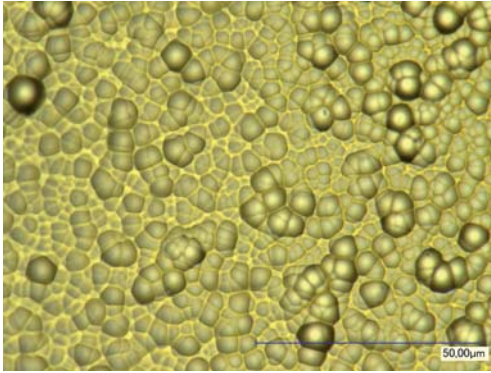


Abb. 9: Oberflächentopografie (Lichtmikroskop) von ENEPIG (links) und Elektrolytisch Ni/Au (rechts)

Oberflächentopografie maßgeblich beeinflusst. Auf den PallaBond-Oberflächen ist dies nicht zu sehen, weil hier kein Nickel verwendet wird. Hier wird die Oberflächentopografie vorrangig durch die Topografie der darunterliegenden Kupferschicht definiert, welche wesentlich feiner strukturiert ist als die Oberfläche einer abgeschiedenen Nickelschicht.

Die Oberflächentopografie einer Oberfläche hat einen wesentlichen Einfluss auf das Drahtbonden. In Bezug auf die beiden PallaBond-Oberflächen EP und EPAG im Vergleich zu den Oberflächen ENEPIG und Elek-

trolytisch Ni/Au bedeutet dies weniger hohe Rauigkeitsspitzen (kleinere  $R_A$ - und  $R_Q$ -Werte), jedoch eine größere Oberfläche (höhere R<sub>SAI</sub>-Werte). Beides in Kombination ist für das Drahtbonden von Vorteil, da eine größere Bondfläche zur Verfügung steht. Dies hat zur Folge, dass EPAG im Vergleich zu ENEPIG als auch zu elektrolytisch Ni/Au eine bessere Bondbarkeit bzw. ein größeres Bondfenster bietet. Selbst die Oberfläche EP ohne Gold lässt sich für einfache Bondaufgaben verwenden (z.B. LED). Die Bondresultate werden im dritten Teil dieses Artikels gezeigt werden.

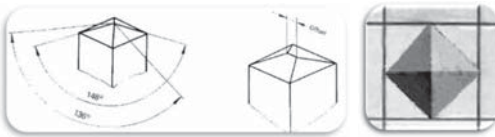


Abb. 10: Diamantstempel (links) und Eindruck des Diamantstempels auf einer Oberfläche (rechts)

## Härte

Die Härte der Oberfläche wird mit der Vickers-Methode gemäß ISO 6507 und ISO 4516 gemessen. Hierbei wird ein Diamantstempel (Abb. 10) in die Oberfläche mit einer definierten Kraft eingedrückt. Anhand der Dimension des Eindrucks lässt sich die Härte bestimmen.

Die Härte von autokatalytisch abgeschiedenem reinem Palladium beträgt 250 VH. Palladium/Phosphor zeigt mit ca. 490 VH fast die doppelte Härte im Vergleich zu reinem Palladium. Beim PallaBond-Prozess wird reines Palladium verwendet, da durch die geringere Härte bessere Drahtbondergebnisse erzielt werden [1].

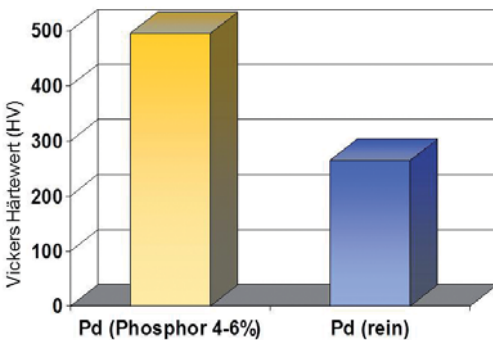


Abb. 11: Gemessene Vickers-Härte von Palladium/Phosphor und Palladium

## Porosität

Die in Abbildung 12 gezeigte Testprobe bestehend aus der Palladium-Oberfläche mit einem Kupferstreifen für die Strommessung wird in das 5 %ige Schwefelsäurebad getaucht (Abb. 13). Dann wird

eine konstante Spannung von 0,2 V gegenüber der Referenzelektrode angelegt. Im Falle, dass Porosität vorhanden ist, wird ein Auflösen des darunter liegenden Kupfers bewirkt. Die Kupferionen befinden sich dadurch im Bad und durch die angelegte Spannung wandern sie zur Elektrode. Es fließt ein Strom, der sich bestimmen lässt. Je größer der Stromfluss um so stärker die Porosität.

Die Porosität wurde mit unterschiedlichen Palladiumschichtdicken gemessen. Deutlich zu sehen ist in *Abbildung 14*, dass bei einer geringen Palladiumschichtdicke von ~27 nm die Porosität stark ausgeprägt ist, was am starken Stromanstieg in der Kurve abgebildet ist (dunkelblaue Linie). Bei einer Palladiumschichtdicke von ~60 nm sehen wir eine erhebliche Reduzierung des gemessenen Stroms, was bedeutet, dass weniger Kupferionen aus dem Teststreifen herausgelöst wurden.

Das heißt die Porosität der Palladiumschicht wird zwar geringer ist aber noch messbar. Ab ~100 nm ist die Palladiumschicht schon so dicht, das man keine Stromsignale mehr messen kann und somit auch keine Porosität mehr vorhanden ist.

Wir empfehlen für Drahtbondanwendungen daher eine Palladiumschicht von >100 nm. Da bei dieser Schichtdicke das darunter liegende Kupfer nicht durch die Palladiumschicht migrieren kann.

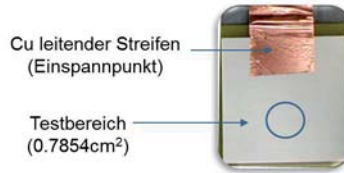


Abb. 12 : Testprobe für die Porositätsmessung

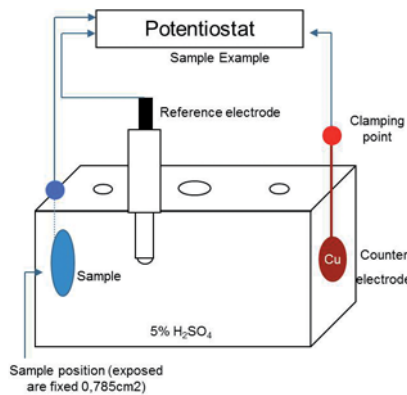


Abb. 13: Messvorrichtung zur Ermittlung der Porosität

## Schichtdickenverteilung

### Schichtdickenverteilung von Palladium

Die Schichtdickenverteilung wird vorrangig durch das Bad und die Badführung bestimmt. Deshalb ist es notwendig, dass das Anlagendesign und das verwendete Bad aufeinander abgestimmt sind. Es ist ebenfalls notwendig, dass ein mechanischer Schock beim Beschichtungsvorgang appliziert wird, um optimale Ergebnisse zu erreichen.

Die Schichtdickenverteilung wurde auf einer Testleiterplatte (*Abb. 15*) auf großen und kleinen Pads bestimmt.

Die *Abbildung 16* zeigt, dass vom kleinsten Pad mit 0,25 mm² bis zum größten Pad mit 49 mm² eine sehr gute Schichtdickenverteilung zwischen 0,15 µm und 0,17 µm Palladium erreicht werden kann – bei einer Zielvorgabe von >0,15 µm Pd.

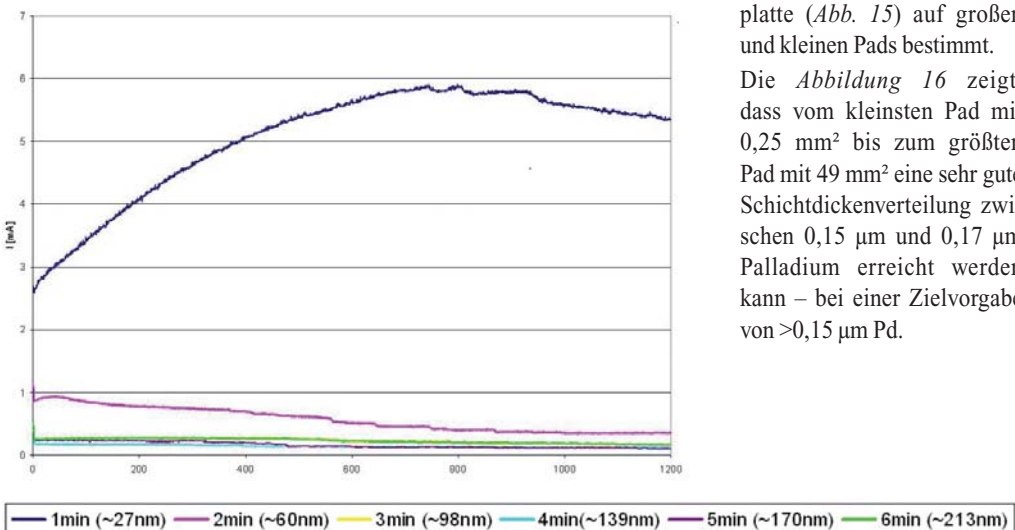


Abb. 14 : Testresultate Porosität

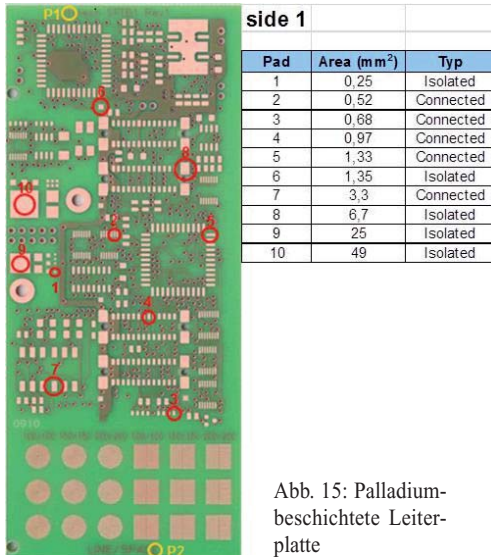


Abb. 15: Palladiumbeschichtete Leiterplatte

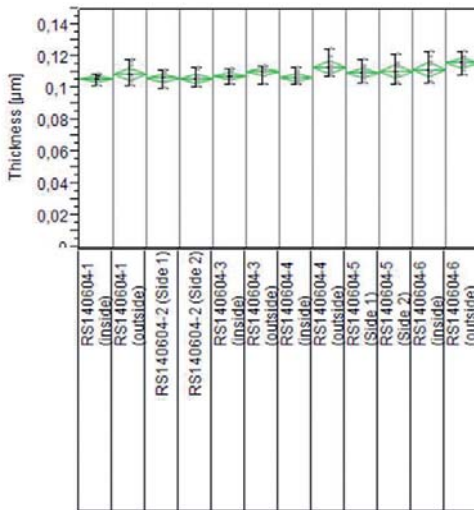


Abb. 17: Testergebnisse der Au-Schichtdickenverteilung

### Schichtdickenverteilung von Gold

Die Messung der Goldschichtdicke (Abb. 17) zeigt, dass vom kleinsten Pad mit 0,25 mm<sup>2</sup> bis zum größten Pad mit 49 mm<sup>2</sup> ebenfalls eine gute Schichtdickenverteilung von 0,105 µm bis 0,121 µm Gold erreicht werden kann – bei einer Zielvorgabe von >0,10 µm.

### Diffusionsbarriere Palladium

Beim EPAG-Prozess fungiert autokatalytisch abgeschiedenes Palladium als Diffusionsbarriere zwi-

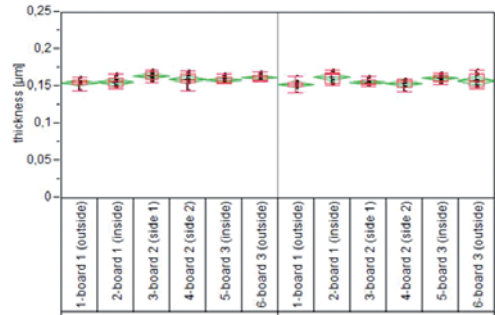


Abb. 16 : Testergebnisse der Pd-Schichtdickenverteilung

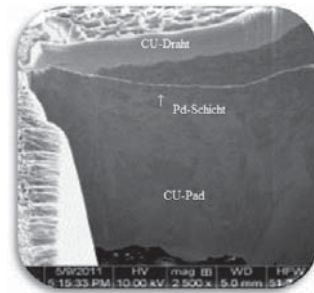


Abb. 18: Cu-Draht auf EP-Schicht vor Alterung

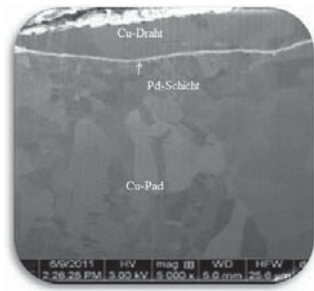


Abb. 19: Cu-Draht auf EP-Schicht nach Alterung (1000 h bei 150 °C)

schen Kupfer und Gold. Somit verhindert das Palladium auch bei dünneren Goldschichten die Kupferdiffusion an die Oberfläche. Wenn Kupfer an die Oberfläche diffundieren würde, würde das Nachteile beim Draht-Bonden mit sich bringen. Da Palladium eine sehr gute Diffusionsbarriere bildet, wird auch die Diffusion von Gold in die Kupferschicht verhindert. Selbst Goldschichtdicken von 50 nm verbleiben somit über die Zeit auf der Oberfläche, ohne in die unteren Schichten zu diffundieren.

Die Abscheidung weist auch bei dünnen Palladium- und Goldschichten sehr gute Bondeigenschaften auf und erfüllt alle in der Branche geforderten Anforderungen. In *Abbildung 18* ist der Schliff eines Kupferdrahtes auf einer Palladiumschicht vor der Alterung zu sehen. In *Abbildung 19* ist der gleiche Aufbau nach einer Alterung von 1000 h bei 150 °C und zu sehen. Der Vergleich zeigt, dass weder das Kupfer des Drahtes noch das Kupfer aus dem Pad in die Palladiumschicht diffundiert ist, selbst bei den sehr hohen Temperaturen und langen Zeiträumen.

### Dichte von Palladium gegenüber Gold

Die Dichte von Palladium beträgt 11,99 g/cm<sup>3</sup> und ist somit niedriger als die von Gold mit 19,32 g/cm<sup>3</sup>. Die geringere Dichte von Palladium hat zwei Effekte. Zum einen braucht man für die gleiche Schichtdicke weniger Palladium als Gold (Menge gemessen in Gramm) und zum Anderen ist der Palladiumpreis günstiger. Auf Grund dessen spart man in doppelter Weise beim Einsatz von EPAG im Vergleich zu Elektrolytisch Ni/Au mit Schichtdicken um die 0,3 µm Gold.

### Technologische, ökonomische und ökologische Vorteile von PallaBond

Folgende technische Vorteile sind mit dem PallaBond-Prozess verbunden:

- Das Verwenden von Rein-Palladium bietet eine sehr gute Bondbarkeit, da das reine Palladium weicher ist.
- Durch die Vermeidung von Nickel sind Feinstleiterstrukturen von <15 µm möglich.
- Die PallaBond-Oberfläche ist je nach Schichtdicke mit Cu-, Cu-Pd-, Ag-, Au- und Al-Draht bondbar.
- Die Oberfläche ist für Tastendruckanwendungen verwendbar.
- Der PallaBond-Prozess bietet exzellente Festigkeit für Lötverbindungen aus bleifreien und bleihaltigen Loten.

- Die Oberfläche eignet sich durch die guten Biegeigenschaften sehr gut für flexible Leiterplatten.
- Durch den Verzicht von Nickel ist die PallaBond-Oberfläche ideal für Hochfrequenzanwendungen.

Folgende ökonomische Vorteile können mit dem PallaBond-Prozess genutzt werden:

- Kein Prozessschritt dauert länger als 10 min. Die kurze Abscheidungszeit (*Abb. 20*) erhöht die Produktivität. Die Produktivität eines Prozesses hängt von dem Bad mit der höchsten Verweildauer ab. Im Falle von PallaBond ist die längste Verweildauer im Bad um über 50 % geringer als bei ENIG oder

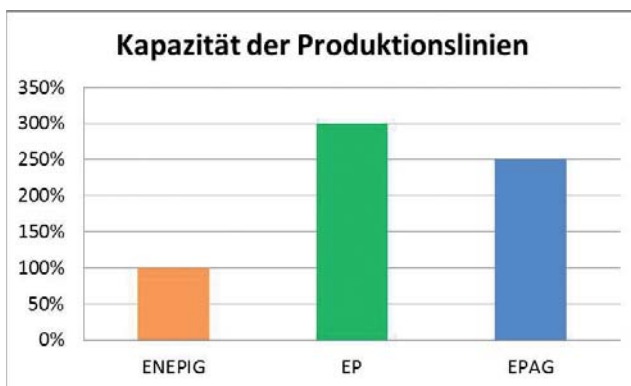


Abb. 20: EP/EPAG-Prozessfolge

	Temp. °C	Zeit (min.)	Material
Reiniger	40	2	PP
Rinse			
Mikroätze	35	1	PP
Rinse			
Pre Dip	35	1	PP
Rinse			
Aktivator	35	1 (typisch)	PP
Rinse			
Autokat. Pd	52	5*	PVDF
Rinse			
Optional für EPAG (für Au-Drahtbonden)			
Autokat. Au	82	10*	SS, beschichtet
Rinse			

\* abhängig von der gewünschten Metaldicke

Abb. 21: Produktionskapazität der Anlagen

ENEPIG, denn, um eine 5 µm Nickelschicht abzuschneiden, benötigt man ca. 23 min.

- Zudem werden durch die geringen Temperaturen im PallaBond-Prozess das Basismaterial und auch die Lötstopmmaske weniger strapaziert.
- Im Falle, dass kein Gold auf der EP-Schicht verwendet werden muss (für reine Lötanwendungen oder einfachste Bondanwendungen) können die Goldkosten eliminiert werden.
- Die Betriebskosten für Wasser, Chemie, Equipment und Zeit sind im Vergleich zu ENEPIG günstiger und Kosten für die Nickelchemie und -entsorgung fallen weg.
- Beim ENEPIG-Prozess werden auf Grund der langen Verweildauer in der Regel zwei Nickeltanks betrieben. Im Vergleich dazu wird beim PallaBond-Prozess lediglich ein Palladiumbad betrieben.

In *Abbildung 21* wird die Produktionskapazität der Anlagen für ENEPIG, EP und EPAG verglichen. Durch die verringerte Abscheidungszeit in der Prozessfolge des PallaBond-Prozesses ist die Produktionskapazität von EP und EPAG zwei bis drei Mal so hoch im Vergleich zu ENEPIG.

Ökologische Vorteile sind:

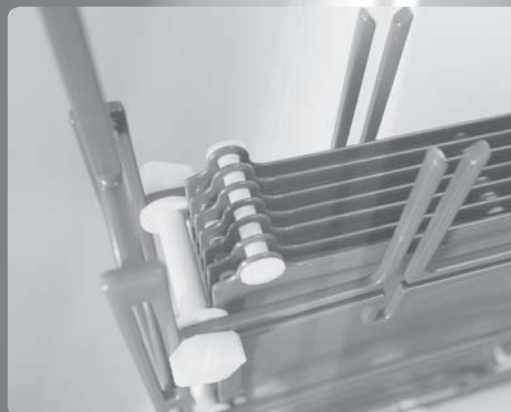
- Der PallaBond-Prozess ohne die optionale Goldschicht beinhaltet keine Schadstoffe und umweltschädigende Inhaltsstoffe. PallaBond mit Goldschicht wird mit einem zyanidhaltigen Goldbad betrieben. Aber auch hier sind Entwicklungen in Arbeit um dieses Goldbad in Zukunft zyanidfrei zu betreiben.
- Auf Grund der leichteren und kürzeren Prozessabfolge verringert sich der Wasserverbrauch. Der Energieverbrauch reduziert sich ebenfalls wegen der niedrigen Prozesstemperatur.
- Chemischer Abfall von Nickel spielt bei PallaBond keine Rolle mehr.

## Fortsetzung folgt

Im dritten Teil folgen Ergebnisse über die Draht-Bond-Barkeit mit verschiedenen Bond-Drähten. Des Weiteren wird der Anwendungsbereich von Palla-Bond im Vergleich zu alternativen Oberflächen als Zusammenfassung dargestellt.

## Referenzen

- [1] M. Oezkoek, G. Ramos, D. Metzger, H. Roberts „The benefits of ENEPIG with pure Pd“ SMTA August 2010



Wir bieten innovative Gestelltechnik für Ihre Oberflächen

- Leiterplattengestelle
- Leiterplattenklammern
- Leiterplattenkörbe
- Sondergestelle

[gs-gestelltechnik.de/leiterplattengestelle](http://gs-gestelltechnik.de/leiterplattengestelle)