

Nickel-Palladium-Gold-Nanoschichtsysteme als alternative Bondoberfläche

Markus Klingenberg und Arno Marto

INFORMATIV

veröffentlicht in der Fachzeitschrift
Ausgabe 11/2010, S. 2606-2611

PLUS
PRODUKTION VON LEITERPLATTEN
UND SYSTEMEN

Nickel-Palladium-Gold-Nanoschichtsystem als alternative Bondoberfläche

Von Markus Klingenberg und Arno Marto, Birkenfeld

Der Einsatz von Palladium ist in der Leiterplattentechnik eine eingeführte und bewährte Oberfläche. Je nach Anwendung noch mit einer dünnen Goldschicht versehen, wird diese Oberfläche für Bond-, Klebe-, und Lötanwendungen eingesetzt. Die entsprechenden Schichtsysteme galvanisch abscheiden zu können ist relativ problemlos. Im Bereich von Leadframes und Stanzgittern hat sich diese Schicht aber noch nicht auf breiter Front durchsetzen können. Die Schichtkombination birgt ein großes Potenzial an Edelmetallersparnis. Bei Inovan wurde ein Nickel/Palladium/Gold-Nanoschichtsystem entwickelt und zur Serienreife gebracht. „Bondfähige Oberfläche“ ist ein weit gefasster Begriff und so galt es Grenzen und Parameter des Systems detailliert zu untersuchen, um es in seinen Eigenschaften verstehen und beeinflussen zu können.

The use of palladium surfaces in printed circuit board technology is an established and valued practice. Depending on the particular application and often in conjunction with a thin gold layer, it is used for bonding, adhesive bonding and soldering. Forming such coating systems by electrodeposition is relatively problem-free. In respect of lead-frames and stamped meshes, this coating system has yet to be widely applied. This combination of the two metals offers scope for considerable savings in the use of precious metals. At Inovan, a nickel/palladium/gold nanolayer system was developed to the point where it could be used in full-scale production runs. Bondable Surfaces is a widely used term and it was therefore necessary to investigate in detail, the limits and operating parameters of this technology in order to fully understand its properties and to be able to optimise them.

1 Einleitung

In der Verbindungstechnik von elektrotechnischen Bauteilen ist das Drahtbonds eine bereits seit Jahrzehnten etablierte Technik [1]. Diese Reibschweißverbindung fand zunächst bei Gehäusen für integrierte Schaltkreise (IC) ihren Einsatz. Dort wurden Silizium-Chips durch Bonds von Golddraht mit dem Leadframe verbunden. Diese Bauelemente fanden separat in elektronischen Schaltungen ihre Anwendung.

Seit vielen Jahren gibt es jedoch den Trend Miniaturisierung und höhere Integration von Baugruppen. Insbesondere im Automobilbereich ergaben sich völlig neue Anforderungen an die Aufbau- und Verbindungstechnik. Die Integration, zum Beispiel bei Steuergeräten oder Sensoren, schritt voran, so dass ein Gehäuse mit Stanzteilen heute neben der Schutz- und Befestigungsfunktion auch elektrische Funktionen übernimmt [2]. Die traditionelle Lötverbindung ist oft einer Bondverbindung gewichen. Anschlüsse von Leistungshalbleitern werden durch Aluminiumdickdrahtbonds (150 µm bis 500 µm) mit Steckerkon-

takten verbunden, Siliziumchips als *bare Die* werden direkt auf das Stanzgitter aufgebracht und müssen kontaktiert werden (Golddraht). Zusätzlich finden auch andere Verbindungstechniken wie SMD-Löten, Leitkleben oder Widerstandschweißen Eingang in mechatronische Baugruppen, so dass Werkstoffe auch für diese Technologien geeignet sein müssen.

Die Bondtechnologie stellt hohe Anforderungen an Oberflächenveredelung und Werkstoffe der Stanzgitter. Aus der Leiterplattentechnik kennt man Metalle und Legierungen, die oftmals chemisch abgeschieden werden wie Nickel-Phosphor, Feingold (Electroless Nickel, Immersion Gold, ENIG) und Palladium. Edelmetalle haben zudem beim Einsatz als Veredelung von Stanzgittern die besten Eigenschaften für gute Bondergebnisse. In der LED-Technik ist Silber weit verbreitet. Dieses wird in der Regel galvanisch in Spottechnik aufgebracht, um die Metallkosten noch weiter zu senken. Auch bei IC's ist Silber als Bondoberfläche seit langem im Einsatz, mit dem Nachteil einer geringen Korrosionsbeständigkeit und somit eingeschränktem Anwendungsbereich [1, 3].



Abb. 1: Hybridbauteil mit Bondverbindungen (Foto: Bosch)

Für Anwendungen in der Automobilindustrie (Abb. 1) hat Inovan seit etwa 15 Jahren *Bondgold* in millionenfachem Einsatz; das Schichtsystem besteht aus einer Feingoldschicht von etwa 0,3 µm mit Unternickelung. Bewährt hat sich auch das Bonden auf Aluminium-Silizium (AlSi), das bei Inovan durch Walzplattieren in dickeren Schichten hergestellt wird (typisch 0,1 mm). Hierbei wird Aluminium unter Druck in ein Substrat gewalzt und durch starke Umformung verschweißt. Letztendlich ist der in Frage kommende Werkstoff in Abstimmung mit den geforderten Eigenschaften des Bauteils zu betrachten. Vor allem der Einsatzort des Produkts muss genauestens geklärt werden. Hierzu zählen Einflüsse aus Umwelt und Betrieb des jeweiligen Bauteils. So können beispielsweise hohe Betriebstemperaturen zu verstärkter Diffusion innerhalb des Bondbereiches führen und bei ungünstiger Werkstoffauswahl die Verschweißung durch Lunker schädigen (*Kirkendall-Effekt* [1]). Die Gold- und Aluminium-Silizium-Oberflächen zeichnen sich durch ein großes Anwendungsspektrum und ein breites *Bondfenster*, also sehr gute Prozessfähigkeit, aus (Abb. 2).

Die genannten Oberflächen sind allerdings sehr hochwertig und steigern dadurch die Kosten für die Baugruppen immens, insbesondere in Zeiten steigender Edelmetallpreise ein nicht zu vernachlässigender Faktor. Daher ist es von großem Interesse, gangbare Alternativen zu finden. Nickel-Phosphor- und Silberschichten sind durch Edelmetalleinsatz beziehungsweise Herstellkosten und wegen Einschränkungen in ihrer Anwendung keine echte Alternative [1, 6]. Es

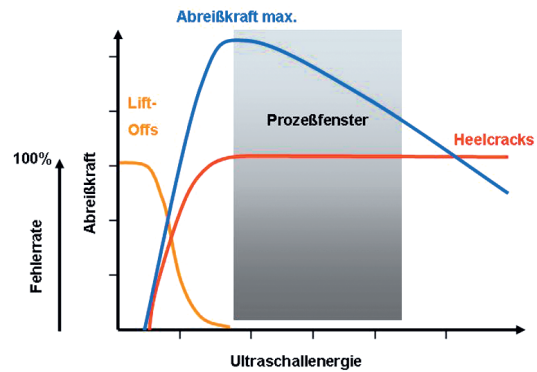


Abb. 2: Bondprozessfenster für Wedge-Wedge Bonden

muss daher Aufgabe sein, ein Schichtsystem mit universellen Eigenschaften, guter Bondbarkeit und dem Potenzial der Edelmetalleinsparung gefunden und in einem Galvanikprozess zu realisieren.

2 Nanoschichtsystem aus Nickel-Palladium-Gold

Bei der Auswahl des zu entwickelnden und zu untersuchenden Schichtsystems wurden folgende Kriterien zugrunde gelegt:

- Edelmetalleinsparung
- Breites Anwendungsspektrum
- Hohe Prozesssicherheit, breites Bondfenster
- Eingeführte Werkstoffe für Bondanwendungen
- Bekannte Prozesse der galvanischen Oberflächenveredelung
- Integrierung in den bewährten In-House-Prozess Bondgoldoberfläche
- Geringe Korrosionsneigung
- Hohe Temperaturbeständigkeit (geringe Diffusion)

Als Eigenschaften zur Veredelung eingesetzter Metalle sind für gute Bondverbindungen besonders wichtig:

- Reine Metalle
- Hohe Neigung zur Kaltverschweißung
- Geringe Oxidbildung
- Geringe Korrosionsneigung im Verbund mit der Oberfläche
- Ähnliche Diffusionsgeschwindigkeiten von Bonddraht und Oberfläche

Bereits seit etwa 20 Jahren ist Palladium als Ersatz für Goldschichten in der Elektrotechnik- und Steckverbinderbranche in der Diskussion [4]. Treiber

für die Entwicklung bei IC-Anwendungen war eine Oberfläche, die löt- und bondfähig ist. Im Zusammenhang mit der RoHS-konformen Umstellung auf bleifreie Verzinnungen und Lote erlebte Palladium eine Renaissance bei den elektronischen Bauelementen und wurde in dem Zusammenhang auch für den Stanz-teile- und Leadframebereich entdeckt [5]. Diese Schichten gerieten aber teilweise wieder in Vergessenheit beziehungsweise wurden nicht für alle möglichen Anwendungsbereich getestet. Da diese Schichtsysteme sowohl für das Golddraht- und Die-Bonden, als auch als whiskerfreie Lötflächen und Kleben geeignet sind, lag es nahe, für Bondverbindungen mit Aluminiumdraht dieses Metall ebenfalls eingehender zu untersuchen. Da Palladium eine wesentlich höhere Härte hat als Gold, kann sogar die Schichtdicke gegenüber einer Bondgoldoberfläche auf etwa 0,1 µm abgesenkt werden. Zur temporären Unterdrückung des *Brown-Powder-Effekts*, das heißt der Anhäufung von Kohlenstoff durch Cracken von Kohlenstoffmolekülen auf der katalytisch wirkenden Palladiumoberfläche, wird eine nur wenige Nanometer dicke Feingoldschicht aufgebracht. Aufgabe war es nun, ein geeignetes Gesamtsystem zu finden, das sich in dem gewählten Aufbau galvanisch auf die Metalloberfläche eines Leadframes applizieren lässt.

3 Versuchsplanung

In einem Versuchsplan wurden Proben in unterschiedlichen Varianten des Grundmaterials sowie der Beschaffenheit und Schichtdicke von Nickel, Palladium und Gold variiert. Parallel wurden die Einstellparameter der Bondmaschine optimiert. Optimale Oberflächen und Bondparameter müssen Bondverbindungen ohne Abheber (Lift Offs) ergeben. Als Versagensmechanismen sind nur Drahtbruch oder Heelcrack zulässig. Weiteres Qualitätsmerkmal der Bondverbindung ist auch die Form des Bondfusses. Dieser darf beispielsweise eine vorgeschriebene Breite nicht überschreiten. Ziel der Optimierungen war, ein möglichst breites Bondfenster, das heißt die Parameter wie Ultraschallenergie und Anpresskraft haben ein möglichst großes Toleranzfenster, in dem Bondverbindungen guter Qualität möglich sind. Dies sichert beim späteren Serienprozess ein gutes Ergebnis bei größeren (Umwelt-) Einflüssen wie im Labormaßstab. Die Rahmenbedingungen für die Untersuchungen sind in *Tabelle 1* zusammengestellt.

Tab. 1: Rahmenbedingungen für die Untersuchung von Bondschichten

Grundmaterial	Kupferlegierungen mit geringer Rautiefe
Schichtdickenmessung	X-Ray XDVM SD, Fa. Fischer
Bonder	Fa. Delvotec, Typ 5630
Bonddraht	AlSi1, 38 µm
Pull-Test	Fa. Dage, Serie 4000
Weitere Untersuchungsmethoden	Lichtmikroskop, Schliff, REM, EDX

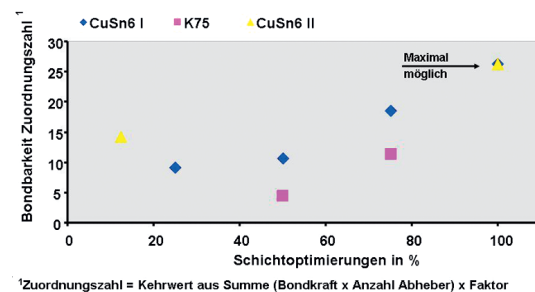


Abb. 3: Varianten aus dem Versuchsplan

Abbildung 3 zeigt die Varianten aus dem Versuchsplan, wobei eine Zuordnungszahl als Maß für die Bondbarkeit eingeführt wurde. Diese ist der Kehrwert aus Summe (Bondkraft x Anzahl Abheber) x Faktor. Die maximal erreichbare Punktzahl ist 26. Auf der x-Achse sind als Summe die Einflüsse beispielsweise von Schichtbeschaffenheiten oder Schichtdicken aufgeführt. Die y-Achse spiegelt die Ergebnisse der Bondtests in Form der Ordnungszahl wieder. Gut zu erkennen ist die Abhängigkeit der Bondfähigkeit vom Grundmaterial. Gravierend sind die Auswirkungen des Schichtsystems. Bei nicht optimalen Bedingungen geht die Qualität auf *nicht bondbar* zurück. Das Schichtsystem mit der besten Bondfähigkeit wurde weiter untersucht.

4 Ergebnisse

Die durchgeführten Untersuchungen ergaben für einen Schichtaufbau aus

- 2 µm bis 4 µm Nickel,
- mindestens 50 nm Palladium und
- mindestens 5 nm Feingold

die besten Ergebnisse. Mit diesem System wurden detaillierte Eignungstests durchgeführt

Die Einzelwerte der Abrisskräfte aus dem Zugversuch sind in *Abbildung 4* dargestellt. In allen Fällen führte der *Heel-Crack* zum Versagen, Bondabheber traten nicht auf. Die statistische Auswertung (*Abb. 5*) zeigt die Normalverteilung der Daten bei einem Mittelwert von 27,78 cN und einer Standardabweichung von 1,43 cN. Bei einer angenommenen Mindestkraft von 7 cN ergibt sich für die Maschinenfähigkeit der Cmk-Wert 4,8. Dies lässt den Schluss zu, dass in der Serie eine ausreichend hohe Prozessfähigkeit erreicht wird (Soll Cpk $\geq 1,67$).

Im weiteren Verlauf wurden Bondungen metallografisch und mikroskopisch untersucht.

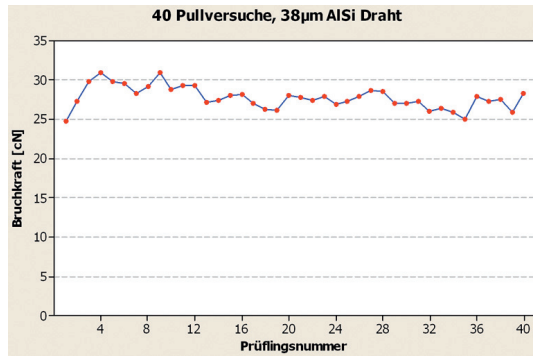


Abb. 4: Abreißkräfte

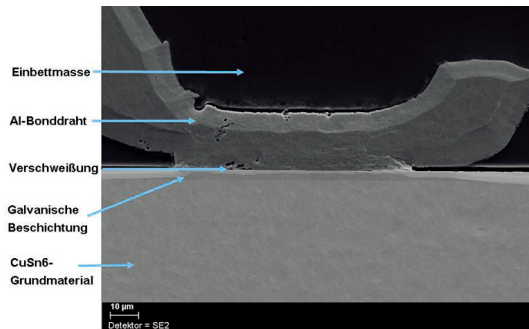


Abb. 6: Bondfuß 38 µm-Draht, Querschliff, REM

In *Abbildung 6* ist ein so genannter Bondfuß im Querschliff zu sehen. Die Verschweißung zeigt sich ohne nennenswerte Fehler. In der Mitte des Bondfusses ist die Verschweißung gut sichtbar. Die hellen Flecken sind ein Anzeichen, dass das Palladium in den Aluminiumbereich eindiffundiert ist. Dies bedeutet eine Verschweißung hat stattgefunden. Außerdem ist eine durchgehende Palladiumschicht zu erkennen, das heißt die Bondverbindung findet auf dem Palladium statt. Dies war eine Fragestellung der REM-Untersuchung am Querschliff (*Abb. 7*).

In den Randbereichen der Bondung ist die Diffusionszone wesentlich stärker ausgeprägt. Eine Erscheinung wie sie auch aus dem Dickdrahtbereich heraus bekannt ist (*Abb. 8*). Da es auf Grund der Drahtstärke schwierig war, die Bondungen nicht nur per Pulltests, sondern auch via Schertests zu qualifi-

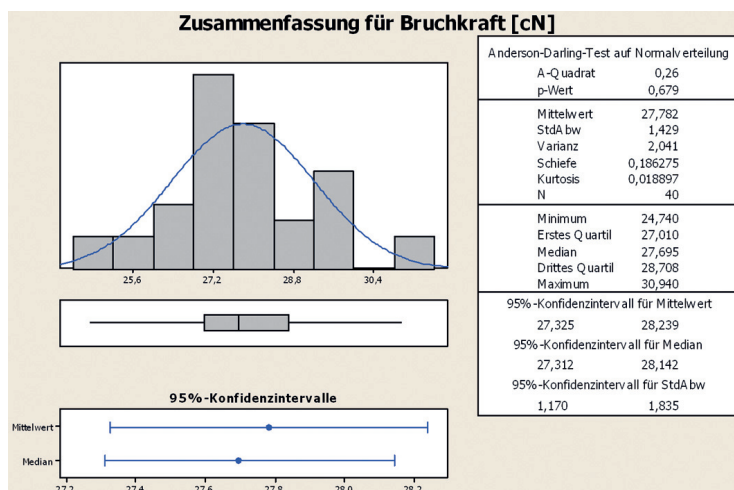


Abb. 5: Statistische Auswertung

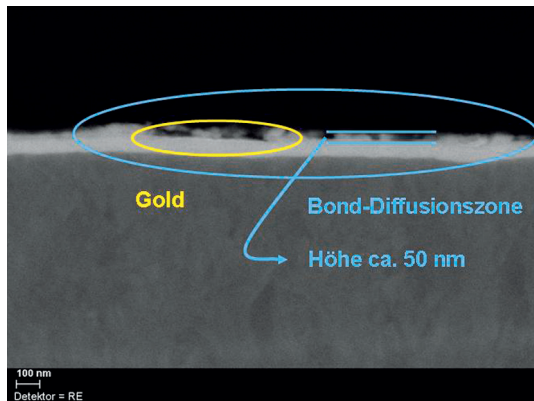


Abb. 7: Bond 38 µm-Draht, Querschliff Mitte Bondfuß, REM



Abb. 9: Bondfläche 38 µm Draht, geätzt, 500fach

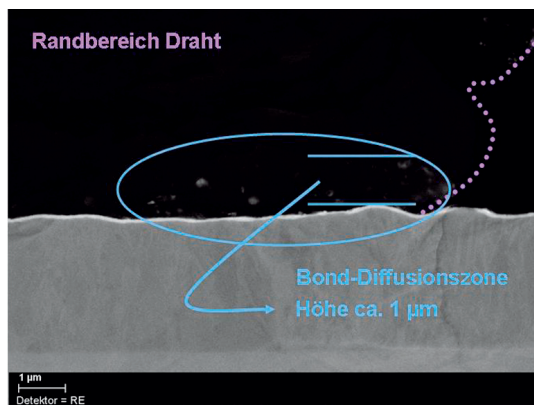


Abb. 8: Bond 38 µm-Draht, Querschliff Randbereich Bondfuß, REM

zieren, wurde die Methode der Ätzung gewählt. Das heißt der Aluminiumdraht wurde weggeätzt, um den Blick auf die Verschweißung zu ermöglichen. Auch hier zeigte sich der stark verschweißte Saum der Bondfläche und der schwächer in Wechselwirkung getretene Innenbereich (Abb. 9).

Die Nanoschichten konnten unter anderem in Bezug auf Schichtdicke oder Haftung reproduzierbar abgeschieden werden. Diverse thermische Auslagerungen vor und nach Bondung zur Simulation von Zwischenlagerung und Beschleunigung eventuell schädigender Diffusionsprozesse wurden ohne Ausfall bestanden. Langzeitauslagerungen über mehrere tausend Stunden waren ebenso erfolgreich.

Die Ziele etablierte Werkstoffe und seriennahe Prozesse konnten erfüllt werden. Lediglich die Dicken-

messung der Goldschicht entspricht auf Grund des Messverfahrens nicht den heute üblichen statistischen Absicherungen. Allerdings gilt das angewandte X-Ray-Verfahren in der Praxis als allgemein anerkannt und bewährt. Allerdings muss das Messgerät zur Messung dünner Schichten geeignet sein.

Parallel zum Schichtsystem war die Ermittlung geeigneter Bondparameter notwendig. Es zeigte sich ein schmaleres Bondfenster wie es aus den Erfahrungen mit Bondgold und Aluminium-Silizium bekannt ist. Vereinzelt Tests im Dickdrahtbereich waren einwandfrei.

Eine sehr gute Korrelation der einzelnen Untersuchungen war gegeben. So konnten alle Prüf- und Messergebnisse durch entsprechende Analysen zusammengeführt werden, so dass keine widersprüchlichen Aussagen im Raum stehen.

5 Zusammenfassung / Ausblick

Die schon seit Jahren aus dem Leiterplattenbereich bekannte Nanoschichtkombination Nickel / Nanopalladium / Nanogold hat bei den vorliegenden Untersuchungen gute Ergebnisse erbracht und dadurch sehr gute Tendenzen aufgezeigt. Bei den durchgeführten Testreihen und abgeprüften Eigenschaften zeigten sich keine nennenswerten Nachteile gegenüber den hochwertigen konventionellen Beschichtungen wie Feingold oder Aluminium-Silizium. Sicherlich stellen die geprüften Eigenschaften nur Grundvoraussetzungen an die Bauteile dar und entsprechende Produkte müssen (kundenseitig) anwendungsspezifisch auf Verhalten beispielsweise bei Vibration oder

Temperaturwechsel geprüft werden. Solche Untersuchungen gehören in den Bereich einer spezifischen Produktentwicklung und konnten somit nicht Bestandteil dieser Entwicklung sein.

Ein weiteres wichtiges Ziel war die Integration des Schichtsystems in bestehende Prozessabläufe. Nach den jetzigen Erkenntnissen ist es möglich, den seit Jahren bewährten Produktionsablauf *Bondgoldprodukte* mit dem Nanoschichtsystem zu erweitern. Somit steht auch diesem neuen Prozess die jahrelange Erfahrung im Handling von Bondoberflächen zur Verfügung. Einer Serienfertigung steht nichts im Wege.

Kontakt

Inovan, Industriestraße 44, 75217 Birkenfeld; www.inovan.de;
markus.klingenberg@inovan.de

Literatur

- [1] George Harman: Wire Bonding in Microelectronics; McGraw-Hill Companies, 1989
- [2] Gausemeier, Feldmann: Integrative Entwicklung räumlicher elektronischer Baugruppen; Hanser Verlag 2006
- [3] Kieninger: Chip und Wire Technik, Verarbeitung von ungehäuten Halbleiterbauteilen; FH-München, 2005
- [4] U. Landau: Steckverbinder in der Automobilindustrie; 28 Ulmer Gespräch (2006)
- [5] Douglas Romm, Berhard Lange, Donald Abbott: Evaluation of Nickel / Palladium / Gold-Finished Surface-mount Integrated Surfaces; Texas Instrument 2001
- [6] <http://www.siliconfareast.com/bonding-theory.htm>



INOVAN – eine Division der
William Prym Holding GmbH
Industriestr. 44
75217 Birkenfeld



Telefon +49 (0)7231 493-0
Telefax +49 (0)7231 493-118
info@inovan.de
www.inovan.de