Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 77 (1986)

Heft: 23

Artikel: Massnahmen zur Einsparung von Gold für elektrische Kontakte

Autor: Schnabl, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904305

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Massnahmen zur Einsparung von Gold für elektrische Kontakte

R. Schnabl

Der aktuelle Stand der Goldeinsparungsmassnahmen für elektrische Kontakte ermöglicht es, die Edelmetallkosten durch zweckmässige konstruktive Massnahmen, Beschichtungsverfahren oder entsprechende Materialwahl zu reduzieren. Im konkreten Einzelfall müssen allerdings alle Anforderungen für den aktuellen Einsatzfall besonders sorgfältig geprüft werden, um eine hohe Zuverlässigkeit auch mit reduziertem Edelmetallverbrauch zu gewährleisten. Der Aufsatz gibt einen Überblick über die heutigen Möglichkeiten.

Les moyens actuels d'économiser de l'or pour contacts électriques permettent de réduire le coût des métaux précieux par des dispositions constructives, des procédés de déposition ou le choix de la matière appropriée. Dans chaque cas, il faut toutefois contrôler soigneusement toutes les exigences à satisfaire, afin d'obtenir une grande fiabilité également avec consommation réduite du métal précieux. L'article indique les possibilités actuelles.

Der Aufsatz entspricht dem Übersichtsvortrag anlässlich der 13. Internationalen Tagung über Elektrische Kontakte in Lausanne, am 18. September 1986.

Adresse des Autors
Rudolf Schnabl, dipl. Ing., Entwicklungsleiter Kontakte, W.C. Heraeus GmbH, D-6450 Hanau.

Die marktwirtschaftliche Situation seit den 70er Jahren, verstärkt noch durch die Goldpreisexplosion im Jahre 1981, zwangen zu intensiven Aktivitäten auf dem Gebiet der Verfahrens- und Werkstoffentwicklung, um das seltene und teure Edelmetall (EM) Gold in der Elektrotechnik einzusparen. Heute sind beträchtliche Erfolge dieser Bemühungen sichtbar.

Grundsätzlich haben sich in den letzten Jahren mehrere Möglichkeiten zur Einsparung von Gold herauskristallisiert:

Herstellverfahren

- miniaturisierte Bauteile
- selektive Edelmetallbeschichtung
- Reduzierung der Kontaktschichtdicken
- Einengung der Edelmetall-Schichtdicken-Toleranzen

Werkstoffe

- Entwicklung niederkarätiger Goldlegierungen
- Ersatz von Gold durch preisgünstigere Edelmetalle
- Ersatz von Gold durch Unedelmetalle

Der Erfolg aller Einzelmassnahmen zusammengenommen lässt sich daran messen, dass der weltweite Goldverbrauch in der Elektronikindustrie von 127 t im Jahre 1983 auf 111 t im Jahre 1985 zurückgegangen ist.

1. Verfahrensbedingte Edelmetalleinsparungen

Von den erwähnten Einsparmöglichkeiten interessieren hier vor allem

- die selektive oder partielle Veredlung der Kontakte, d.h. ein Edelmetalleinsatz nur noch an der tatsächlichen Kontaktstelle und
- die Verringerung der Edelmetallschichtdicke auf das funktionell erforderliche Mass.

Für beide Möglichkeiten gibt es keine Idealforderungen, da diese stark von der Art der Anwendung und dem Beschichtungsverfahren abhängig sind. Das Beschichtungsverfahren wird wiederum nach der Art des Kontaktwerkstoffes, des Trägerwerkstoffes, der Kontaktgeometrie, der Weiterverarbeitung und insbesondere nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten ausgewählt. Grundsätzlich stehen vier Verfahren zur Verfügung:

- galvanische Beschichtung;
- Beschichtung aus der Gasphase;
- Walzplattieren;
- Schweisstechnik.

Anhand einiger Beispiele sollen im folgenden Möglichkeiten der Edelmetalleinsparung für die einzelnen Beschichtungsverfahren näher erläutert werden.

Selektive Beschichtung

Auf dem Gebiet der *selektiven Beschichtungen* haben sich Beschichtungsverfahren wie Streifenveredlung, partielles Eintauchen und besonders das sogenannte Spotplating im Hinblick auf Edelmetalleinsparung als wirtschaftlich erwiesen. Eingesetzt werden schnellabscheidende Elektrolyte mit Abscheideraten von 19 µm/min bei Stromdichten von 100 A/dm². Die erreichbaren Schichtdicken sind abhängig von der Art des Verfahrens und des abgeschiedenen Metalls und liegen für Edelmetalle in der Regel zwischen <0,1 und 2 µm, in Ausnahmefällen bis 10 µm [1].

Ein besonders geringer Edelmetallverbrauch lässt sich z.B. durch das Spotplating von Kontaktierungsflächen auf Halbleiterträgern erzielen, bei dem Edelmetall nur an der vorgegebenen Stelle abgeschieden wird. Auf diese Weise lassen sich heute Spots von weniger als 0,5 mm Kantenlänge herstellen.

Beträchtliche Au-Einsparungen sind auch durch die Anwendungen weiterentwickelter galvanischer Ver-

fahren für Kontakte zu erreichen. Eine Umstellung der konventionellen partiellen Tauchgalvanisierung auf kontrollierte Anströmbeschichtung (jet plating) kann eine Au-Ersparnis bis zu 89% für den gleichen Kontakttyp ergeben [2].

Vakuumbeschichtung

Die *Vakuumbeschichtung* durch Verdampfen, Zerstäuben oder Ionenplattierung [3] lässt sich besonders dort anwenden, wo Trägerwerkstoffe mit hochschmelzenden oder spröden Materialien beschichtet werden sollen. Durch die Beschichtung unter Vakuum kann ein sehr hoher Reinheitsgrad der Schichten erreicht werden. Der hohe Reinheitsgrad der durch Vakuumbeschichtung hergestellten Kontaktschichten gewinnt insbesondere für Au-Werkstoffe dadurch an Bedeutung, weil erhöhte Zuverlässigkeitsanforderungen an die Kontaktsicherheit miniaturisierter Schalter und Relais Kontaktwiderstandserhöhungen durch organische Bedeckungen der Kontaktfläche in letzter Zeit verstärkt in den Vordergrund des Interesses gestellt haben. Wirtschaftlich sinnvolle Schichtstärken lassen sich im Bereich zwischen <0,1 und 10 µm bei Abscheideraten von etwa 2 µm/min und dm² mit dem Trommelbeschichtungsverfahren herstellen. Da bei diesem Verfahren eine Mindesterwärmung des Substrats auf Temperaturen zwischen 100 und 350 °C unumgänglich ist, müssen etwaige Nachteile, wie z.B. der Verlust von Federeigenschaften des Trägerwerkstoffes, durch die Wahl von Werkstoffen mit höherer Rekristallisationstemperatur ausgeglichen werden. Die Vakuumtechnik ermöglicht die ökonomische Herstellung äusserst gleichmässiger EM-Legierungsschichten unter 1 µm.

Walzplattiertechnik

Die *Walzplattiertechnik* und insbesondere das Streifenplattieren wurde in den letzten Jahren sehr stark weiterentwickelt. Durch metallurgische Abstimmungen zwischen Trägerwerkstoff, Zwischenschicht und Auflage konnten die Toleranzen wesentlich eingeengt werden, so das sich Schichten mit einer Minimalstärke von 0,2 µm und einer oberen Grenze von 1 µm realisieren lassen. Figur 1 zeigt den Schichtaufbau eines walzplattierten Bandes für Kontaktfedern mit einer mittleren Kontaktschichtstärke von 0,8 µm. Die Schichtdicke und

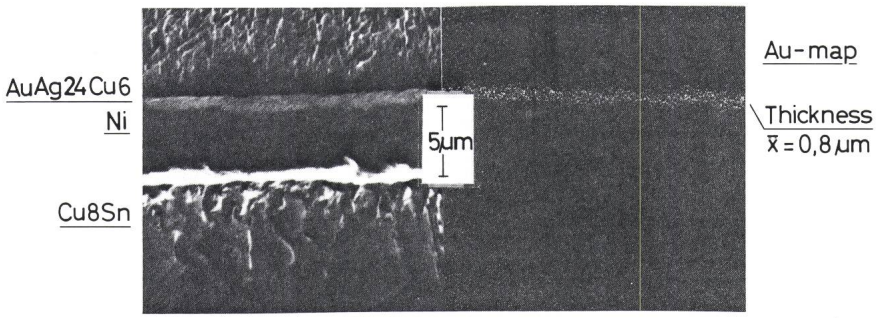


Fig. 1 Herstellung einer EM-Schicht mittels Walzplattierung

Gleichmässigkeit der Kontaktauflage aus einer AuAg24Cu6-Legierung wird im rechten Teil der Abbildung durch ein Au-Verteilungsbild verdeutlicht.

Schweisstechnik

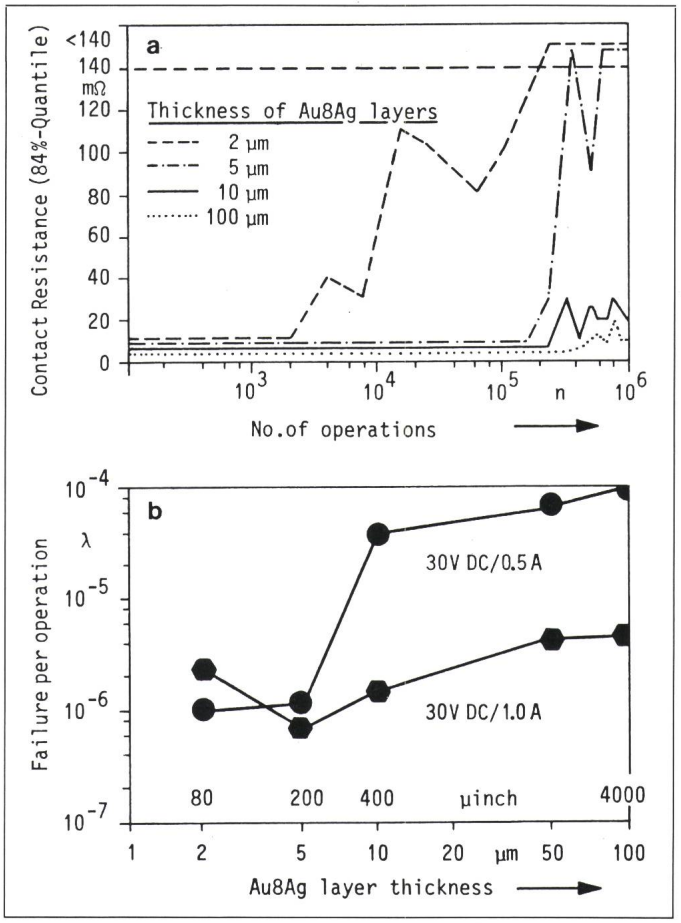
Mit der *Schweisstechnik* sind auch sehr ungünstige Kontaktgeometrien, z.B. sehr dünne Federn mit dicker Kontaktauflage oder hochstehende Kontaktstücke, zu realisieren. Durch die Verwendung von Double- oder Triple-Profilen lassen sich die geforderten Kontakthöhen bei minimalem Edelmetalleinsatz erreichen. Dabei lassen sich Profildrähte verwenden, die nach allen bisher genannten Verfahren veredelt wurden [5; 6].

Verminderte Gold-Schichtdicke

Im Hinblick auf die *Reduzierung von Gold-Schichtdicken* erwies sich für Schaltkontakte die zunehmende Umstellung von elektromechanischen Relais auf Halbleiter in komplexen Steuerungen als positiv. Die bisherigen induktiven Schaltlasten werden durch kontakttechnisch unkritischere Widerstandslasten ersetzt.

Ein Beispiel für die Optimierung von hochkarätigen Goldschichten auf Schaltkontakten für die Lastbereiche Trockenschaltung sowie 15-W- bzw. 30-W-Widerstandslast zeigt Figur 2. Im oberen Teil des Diagramms ist der

Fig. 2
Schaltungseigenschaften von Au8Ag-Schichten auf AG60Pd-Kontakten
F = 5 cN, f = 1 Hz
a Trockenschaltung
b mittlere Ohmsche Last



Kontaktwiderstand über 1 Mio Schaltoperationen bei lastfreier Betätigung für AuAg8-Schichtdicken zwischen 2 und 100 µm aufgetragen. Trägerwerkstoff war in allen Fällen AgPd 50. Wenn eine Kontaktkraft von 5 cN eingestellt wird, erfolgt für die 2-µm-Schicht nach 2000 Schaltoperationen eine plastische Deformation. Als Ergebnis dieser Deformation steigt der Kontaktwiderstand deutlich an. Eine signifikante Verbesserung, bezogen auf die Kontaktwiderstandsstabilität, wird erreicht, wenn eine 5 µm dicke AuAg8-Schicht aufgebracht wird. Schichtdicken zwischen 10 und 100 µm bieten die beste Kontaktwiderstandsstabilität. Andererseits zeigt der Lebensdauertest mit Widerstandslasten von 15 W einen drastischen Anstieg von verschweissungsbedingten Fehlern für Goldschichten im Bereich zwischen 5 und 10 µm. Die Zuverlässigkeit der Kontakte, die durch die Fehlerrate per Schaltoperation angezeigt wird, fiel um mehr als eine Grössenordnung ab, wenn die Schichtdicke von 5 auf 10 µm erhöht wurde. Es scheint, dass eine Goldschichtstärke von 5 µm den besten Kompromiss zwischen Kontaktwiderstandsstabilität bei lastfreien Schaltungen und einer niedrigen Fehlerrate bezogen auf Verschweissungen im mittleren Lastbereich darstellt.

2. Ersatzwerkstoffe

Ein weitgehender Ersatz von Gold durch Silber und Palladium (Pd) ist bei einer neu entwickelten Legierung für Steckverbinder und Abgreiferkontakte gelungen [7]. Die schmelztechnisch hergestellte 9-karätige AuAgPd-Kontaktlegierung ist bei vergleichbarer Verschleissfestigkeit zu der Standardlegierung AuAg24Cu6 unter erhöhter Umgebungstemperatur gegen Oxidation beständiger. Ausserdem lässt sich diese Legierung walz- und stanztechnisch problemlos verarbeiten. Gegenüber den bislang verwendeten 16-karätigen AuAgCu-Legierungen konnten die Kosten um 40% reduziert werden.

Über eine AgPd60-Legierung mit Au-Anreicherung nur an der Oberfläche, wird aus den USA berichtet [8]. Durch eindiffundiertes Gold weist die AgPd-Oberfläche im Bereich bis zu 0,4 µm Tiefe einen Au-Anteil zwischen etwa 70 und 48% auf. Diese Materialzusammensetzung erwies sich auch bei chlorhaltigen (Cl_2) Korrosionstests im Hinblick auf einen stabilen Kontaktwiderstand als gut. Durch Einsatz dieses Werkstoffes in speziellen Steckverbindern konnten Edelmetallkosten um den Faktor 20 reduziert werden.

Vergleichende Untersuchungen an DIP-Socket-Kontakten mit hohen Kontaktkräften ergaben, dass bei Einsatz von AgPd60 in der Kontaktzone auf Au vollständig verzichtet werden kann. Temperaturzyklen, Korrosionstests und Vibrationsbelastungen liessen keine Verschlechterung der Kontaktsicherheit im Vergleich zu Au erkennen [9].

Durch besonders hohe Verschleissfestigkeit zeichnet sich die galvanisch abgeschiedene 18-karätige AuCuCd-Legierung aus, die eine relativ gute Korrosionsbeständigkeit mit hoher Mikrohärte von etwa 400 HV (Vickershärte), einer Zugfestigkeit von 900 N/mm² und einer Dehnung von etwa 5% verbindet [10]. Galvanisch herstellbar sind auch Au-Legierungsschichten mit 20% Pd, 25–50% Ag, 25% Cu, 20% Ni und 20% Sn. Erhöhte Umgebungstemperaturen von 70 °C können jedoch bereits nach vier Monaten durch Oxidation der Unedelmetallanteile zu einem z.T. signifikanten Kontaktwiderstandsanstieg führen.

Palladium wurde im Zuge der Goldpreiserhöhungen als aussichtsreichster Substitutionswerkstoff bereits sehr früh in nahezu allen Anwendungsbereichen der Kontakttechnik eingesetzt. Hervorzuheben sind die hohe Verschleissfestigkeit galvanisch hergestellter Pd-Schichten, verbunden mit einer guten Korrosionsbeständigkeit. Als ökonomischer Vorteil ist neben dem niedrigen EM-Preis das geringe spezifische Gewicht zu nennen, welches im Vergleich zu Au etwa ⅓ mehr Flächenausbringung erlaubt. Als kritisch für die Kontaktzuverlässigkeit kann sich die Polymerbildung durch die katalytische Wirkung des Palladiums auswirken [11; 12] bzw. die Empfindlichkeit gegenüber chlorhaltigen aggressiven Umgebungsbedingungen [13]. Eine Verminderung der Polymerbildung lässt sich durch die Verwendung von AgPd-Legierungen und Palladium mit dünnen Au-Überzügen mit Schichtdicken von <0,2 µm erzielen. Zugleich verbesserte diese poröse Au-Beschichtung auch die Korrosionsbeständigkeit und das Verschleissverhalten [14; 15].

Von den galvanisch aufgebrachten PdNi-Schichten, erwies sich besonders die Pd-Schicht mit 20% Ni-Anteil als gut anwendbar für Steckverbinder-Kontakte. Die Stabilität des Kontaktwiderstandes von PdNi20 ist auch unter erhöhten Temperaturen von 398 K und 473 K nach 96 h vergleichbar zu Pd und AuCo [16]. Ebenso wie bei Palladium, erweist sich auch bei PdNi-Schichten ein Au-flash als verschleissmindernd. Dieser ökonomische Schichtverbund verbindet eine gute Korrosionsbeständigkeit mit einer für den Verschleiss günstigen hohen Mischhärte [17].

Anzumerken ist, dass die hohe Härte von Kontaktschichten bei Steckverbinderanwendungen eine sorgfältige Auswahl des Gegenkontaktwerkstoffes bedingt. Bewährt haben sich Hartgoldschichten oder aushärtbare Au-Legierungen. Für höhere Steckzyklenzahlen wird für Pd-Kontakte Befettung empfohlen, die auch festhaftende Polymerbildung bei Versatzbewegungen im µm-Bereich verhindert [18].

Billig-Steckverbinder

Ein völliger Verzicht auf Edelmetalle wird in Billig-Steckverbindern angestrebt. Voraussetzung ist eine konstruktiv bedingte hohe Kontaktkraft. Als aussichtsreicher Ersatzwerkstoff haben sich Zinn und Blei-Zinn erwiesen. Aufgrund der niedrigen Härte dieser Werkstoffe ist der Einsatz auf Steckverbinder mit geringer Steckhäufigkeit beschränkt. Eine weitere Limitierung ist die hohe Steck- und Ziehkraft bei vielpoligen Steckverbindern aufgrund der plastischen Deformation der Sn- und PbSn-Beschichtungen während des Einsteckens.

Fretting-corrosion-Effekte können bei Unedelmetall-Beschichtungen zu deutlichem Widerstandsanstieg innerhalb kurzer Einsatzzeiten führen [19; 20]. Durch Befettung z.B. mit Polyphenyläther und mikrokristallinen Wachsgemischen, lässt sich jedoch auch für PbSn- und Sn-beschichtete Kontakte ein über lange Einsatzzeiten stabiler Kontaktwiderstand erzielen [21]. Eine mit Au vergleichbare Kontaktwiderstandsstabilität auch unter korrosiven Umgebungsbedingungen verlangt jedoch von Sn-beschichteten Kontakten eine etwa dreifach höhere Kontaktkraft als bei Au-beschichteten Steckverbindern, wie aus Figur 3 ersichtlich ist. Bei entsprechender konstruktiver Gestaltung wird heute jedoch für kommerziell verfügbare Steckverbinder auch unter den zuvor genannten Einschränkungen über eine hohe Kontaktzuverlässigkeit berichtet.

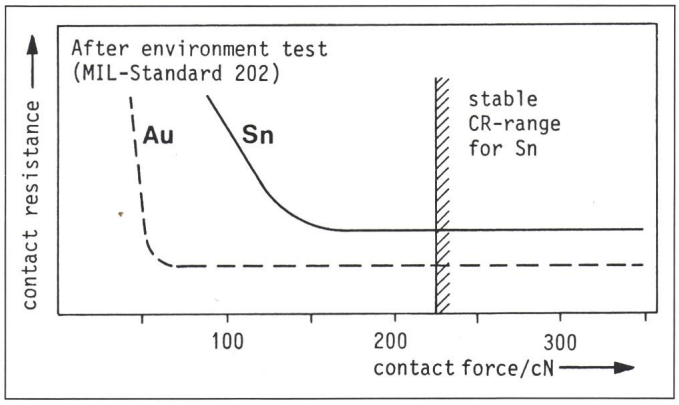


Fig. 3
Stabilität des Kontaktwiderstandes von zinnbeschichteten Kontakten [22]

Eine herausragende Verschleissfestigkeit verbunden mit einem annehmbaren Kontaktwiderstand von etwa 500 mΩ bei Kontaktkräften von 28 cN wird von einer elektrisch leitfähigen technischen Keramik aus TiN berichtet [23]. Dieses Material wird durch reaktives Sputtern von Titan in einer Stickstoffatmosphäre hergestellt. Vorzugsweise verwendete Trägerwerkstoffe dafür sind Stahl, aber auch Kupferlegierungen mit Rekristallisationstemperaturen über 350 °C. Zur Erzielung eines niedrigeren Kontaktwiderstandes kann die oberste Zone der TiN-Schicht mit Edelmetall angereichert werden.

Literatur

[1] *Y. Rymwid:* New approach to high speed gold plating. Proceedings of the 16th Annual Connectors and Interconnection Technology Symposium, November 14..16, 1983, Philadelphia/Pa., p. 5....14.

[2] *B. Enders:* Selektive Beschichtung von Kontaktmaterial. Metalloberfläche 39(1985)11, S. 400...404.

[3] *G. Herklotz:* Spezielle Aufdampfverfahren im Vergleich zur Galvanotechnik. Moderne Gesichtspunkte der Galvanotechnik. Esslingen, Technische Akademie, 1981.

[4] *D. Stöckel* und *E. Schneider:* Schweissen von Kontaktteilen: Übliche Verfahren und weiterentwickelte Varianten. Maschinenmarkt 86(1980)77, S. 1459...1461.

[5] *H. Koch:* Mikrokontaktschweissen in der Nachrichtentechnik. Vortrag des 7. VDE-Kontakt-Seminars «Kontakt-Verhalten und Schalten», Karlsruhe 1983.

[6] *K. Lichtenberger* und *G. Beduhn:* Advances in precision high welding. Proceedings of the 29th Annual Relay Conference, Oklahoma, 1981.

[7] *A. Bischoff* und *F. Aldinger:* Einfluss geringer Zusätze auf die mechanischen Eigenschaften von AuAgPd-Legierungen. Metall 36(1982)7, S. 752...756.

[8] *F.E. Bader:* Diffused gold R 156: A new inlay contact material for Bell system connectors. Proceedings of the 11th International Conference on Electrical Contact Phenomena, Berlin, June 7...11, 1982; p. 133...137.

[9] *P. Cappand* and *A. Epstein:* Evaluation of a palladium-silver inlay as an alternative to gold plated BeCu-spring clips used in screen machine DIP sockets. Proceedings of NEPCON West, February 1982.

[10] *W. Flühmann* u.a: Verschleissuntersuchungen an hochlegierten Goldniederschlägen. Galvanotechnik 65(1974)8, s. 652...658.

[11] *F. Aldinger* und *R. Schnabl:* Edelmetallarme Kontakte für kleine Ströme. Metall 37(1983)1, S. 23...29.

[12] *G. Herklotz, R. Schnabl* and *F. Aldinger:* Experience with the substitution of gold by palladium in connectors. Proceedings of the 11th International Conference on Electrical Contact Phenomena, Berlin, June 7...11, 1982; p. 116...120.

[13] *E.S. Sproles, S.P. Sharma* and *M.H. Drozdowicz:* Results of exposure of palladium based contact materials to Cl_2 and H_2S ambients. Proceedings of the 11th International Conference on Electrical Contact Phenomena, Berlin, June 7...11, 1982; p. 143...147.

[14] *A. Murr, A. Phildius* and *A. Schön:* Palladium- and palladium-silver-based contact materials used as a substitute for gold in connector applications. Proceedings of the 11th International Conference on Electrical Contact Phenomena, Berlin, June 7...11, 1982; p. 138...142.

[15] *E.A. Sauter* and *G. Weik:* Wear of palladium plated with a thin gold layer for connector contacts. Proceedings of the 11th International Conference on Electrical Contact Phenomena, Berlin, June 7...11, 1982; p. 121...122.

[16] *H. Grossmann, H. Huck* and *G. Schaudt:* Properties of palladium-nickel electrodeposits on connectors. Proceedings of the 16th Annual Connectors and Interconnection Technology Symposium. November 14...16, 1983, Philadelphia/Pa., p. 25...38.

[17] *S.W. Updegraff:* Palladium-nickel: The gold substitute that outperforms gold. Proceedings of the 16th Annual Conectors and Interconnection Technology Symposium, November 14...16, 1983, Philadelphia/Pa., p. 15...24.

[18] *M. Antler:* Effect of lubricants on friction polymerization and the contact resistance of palladium. Proceedings of the 11th International Conference on Electrical Contact Phenomena, Berlin, June 7...11, 1982; p. 148...152.

[19] *W.H. Abbott* and *K.L. Schreiber:* Dynamic contact resistance of gold, tin and palladium connector interfaces during low amplitude motion. Proc. Electr. Cont. 1981, p. 211...219.

[20] *P. Castell, A. Menet* and *A. Caballeira:* Fretting corrosion in low-level electrical contacts: A quantitative analysis of the significant variables. Proceedings of the twelfth International Conference on Electrical Contact Phenomena and the thirtieth Annual Holm Conference on Electrical Contacts 1984; p. 75...81.

[21] *M. Antler:* Fretting corrosion in solder and tin coated electrical contact material. Proceedings of the 16th Annual Connectors and Interconnection Technology Symposium, November 14...16, 1983, Philadelphia/Pa., p. 231...234.

[22] *H. Ahne* and *W. Tanaka:* Tin instead of gold as contact surface of dry circuits. El. Ind. (1985)11.

[23] *C. Ernsberger:* Titanium nitride: A potential ceramic low energy contact material. Proceedings of the twelfth International Conference on Electrical Contact Phenomena and the thirtieth Annual Holm Conference on Electrical Contacts 1984; p. 587...597.