

KONTAKTNE KARAKTERISTIKE $U_c(I)$ RAZLIČNIH PASIVACIJSKIH TANKIH PLASTI NA ZLITINI AgNi_{0,15}

CONTACT CHARACTERISTICS $U_c(I)$ OF DIFFERENT PASIVATION LAYERS ON THE AgNi_{0,15} ALLOY

Lidija Koller¹, Martin Bizjak²

¹Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko, Teslova 30, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Iskra - Stikala d.d., Kranj, Savska Loka 4, 4000 Kranj, Slovenija

Prejem rokopisa - received: 1999-12-20; sprejem za objavo - accepted for publication: 2000-01-17

Znana površinska zaščita Ag-kontaktov s tankim nanosom zlata je cenovno neugodna. Študirali smo nekatere cenejše pasivacijske plasti, ki jih lahko nanese dovolj tanko, da preprečimo korozijski učinek okolice in hkrati ohranimo dovolj veliko električno prevodnost stika med pasiviranimi površinama, kar ustreza dobremu električnemu kontaktu. Zaščitna plast na kontaktni površini poslabša kontaktne lastnosti, če ni iz električno bolj ali enako prevodnega materiala kot osnovni material. Zato pomeni uvedba pasivacije kontaktnih površin kompromis med povečanjem stabilnosti kontakta in verjetnim poslabšanjem kontaktnih lastnosti. Štiri različne pasivacijske tanke plasti so bile nanese na AgNi_{0,15}. Pri nanosih tankih plasti po obdelavi v vodikovi in kisikovi radiofrekvenčni plazmi (RF) smo določali kontaktne karakteristike $U_c(I)$ pri izbrani sili F_c kontaktnega stika.

Ključne besede: kontaktni materiali, kontaktne karakteristike, pasivacijske tanke plasti, RF-plazma

Well known surface protection of silver contacts with the thin layers of gold is rather expensive. Therefore we studied some less expensive surface layers which could protect the contact material against the corrosive effects of the surroundings without the loss of contact performances. For that reason the material of the pasivation layers should be at least as good electric conductor as the base material. To protect the AgNi_{0,15} contact material we used four different types of pasivation layers. After the deposition and treatment of thin layers in the hydrogen and oxygen radio frequency plasma the contact characteristics $U_c(I)$ were measured at the defined contact force F_c .

Key words: contact materials, contact characteristics, thin pasivation layers, RF plasma

1 UVOD

Zahteva po stabilnosti kontaktnih lastnosti¹⁻⁵ preklonih kontaktov pomeni, da se parametri električnega kontakta lahko spreminjajo v mejah, ki omogočajo njegovo pravilno delovanje. Za izpolnitev te zahteve je treba zagotoviti dovolj konstantno prevodnost stičnega mesta med kontaktnima površinama iz ustreznega električno prevodnega kontaktnega materiala pri predvideni sili kontaktnega stika. Zato mora biti kontaktni material električno prevoden in inerten na vplive bližnje okolice, ki na kontaktni površini povzročajo tvorbo korozijske plasti, nanos tujih plasti in onesnaževanje s tujimi delci. Za namene raziskave je bil izbran AgNi_{0,15} kot značilen predstavnik srebrovih zlitin. Električne lastnosti pasiviranih kontaktov AgNi_{0,15} se razlikujejo glede na vrsto pasivacijske plasti, zato je treba za vsako vrsto pasivacije določiti zvezo med med kontaktno napetostjo U_c in tokom I pri sili kontaktnega stika F_c kot parametru in iz tega oceniti, za katero območje napetosti tokokroga je tak kontakt primeren.

2 EKSPERIMENTALNI DEL

Preskusni vzorci za raziskovalne namene so bili pripravljani iz kontaktnega materiala AgNi_{0,15}. Vzorci

dolžine 50 mm so bili odrezani iz tankega traku s presekom 2,6x0,3 mm, kontaktna površina je bila polcilindrična s krivinskim radijem 9 mm. Nanosi pasivacijskih tankih plasti na kontaktih so bili štirje:

- Pasivacija s sredstvom za kromatiranje z anodno oksidacijo⁶
- Pasivacija z voskanjem v vodni raztopini tipa Silverbrite⁷
- Pasivacija z naprševanjem trde prevleke Cr/CrN⁸
- Pasivacija z naprševanjem trde prevleke Ti/TiN⁸.

Vzorci z nanosom vseh štirih pasivacijskih tankih plasti⁹ so bili preskušeni na odpornost proti sulfidiranju v raztopini K₂S in nato izpostavljeni vplivu nizkotlačne radiofrekvenčne (RF) plazme¹⁰:

predobdelava vzorcev s čiščenjem v vodikovi plazmi (vzorci izpostavljeni 1 minuto pri tlaku 1mbar)

površinska oksidacija vzorcev v reaktivni kisikovi plazmi ($t=30$ s, $p=0,6$ mbar)

Obdelava vzorcev z vodikovo in kisikovo plazmo je potekala v standardni razelektrivni komori (steklena cev $\phi=3$ cm). Plazma je bila vzbujana z induktivno vezanim RF-generatorjem, z dvanajst ovoji tuljave. Hopkinsova past je bila hlajena s tekočim dušikom. Temperatura vzorcev ni bila merjena.

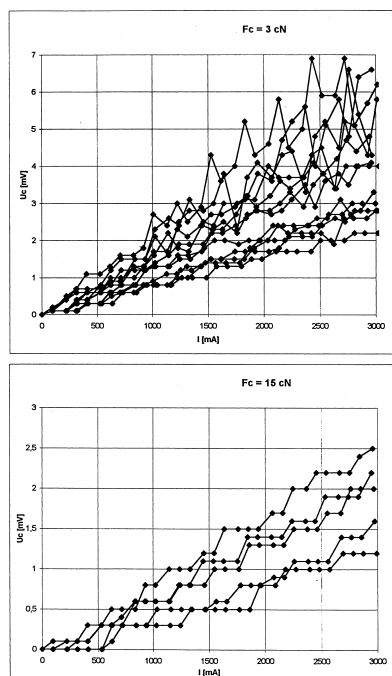
Za določanje kontaktnih karakteristik $U_c(I)$ po različnih površinskih obdelavah kontaktnega materiala je



Slika 1: Računalniško vodeni sistem za merjenje kontaktnih karakteristik $U_c(I)$
Figure 1: Computer supported system for measuring the contact characteristics $U_c(I)$

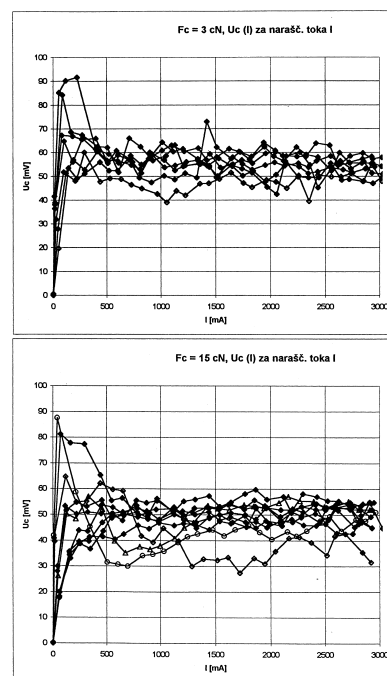
bil na IEVT posebej izdelan računalniško vodeni sistem (Slika 1). Preskusni kontakt sta sestavljala po dva eneka vzorca kontaktnega miniprofila. Vzorca sta bila fiksirana v obliki prekržanih trakov (miniprofilov), eden na nosilcu s tehtnico, drugi na nosilcu s krmilnikom sile kontaktnega stika. Ustrezna konca kontaktnega para sta bila povezana paroma s programiranim virom toka in

milivoltmetrom z računalniškim zajemanjem in obdelavo podatkov, ki je registriral medkontaktno napetost U_c na kontaktnem paru s tokom I pri nastavljeni kontaktni sili F_c merskega sistema. Tokovni vir je programirano po 5 sekundnih korakih spreminjal tok I v območju od 0 do 3000 mA in nazaj, hkrati pa registriral napetost U_c .



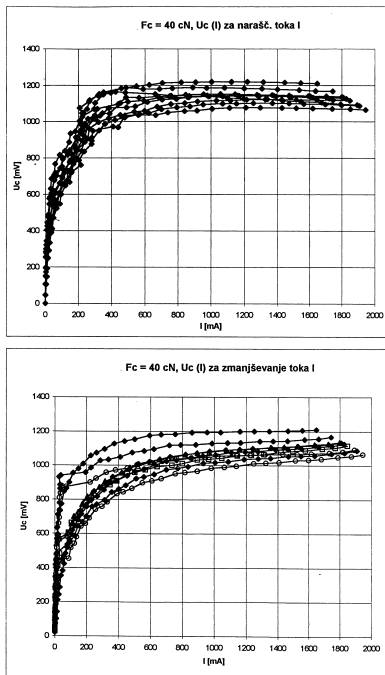
Slika 2: Kontaktno karakteristike $U_c(I)$ kromatirane pasivacijske tanke plasti na kontaktnih parih AgNi0,15 v območju od začetne vrednosti $I=0A$ do zgornje meje $I=3,0A$ pri izbrani vrednosti kontaktno sile $F_c=3cN$ in $F_c=15cN$

Figure 2: Contact characteristics $U_c(I)$ of the cromated passivation thin layer on the AgNi0,15 contact pairs in the region from 0 to 3,0A at the contact force $F_c=3cN$ and $F_c=15cN$



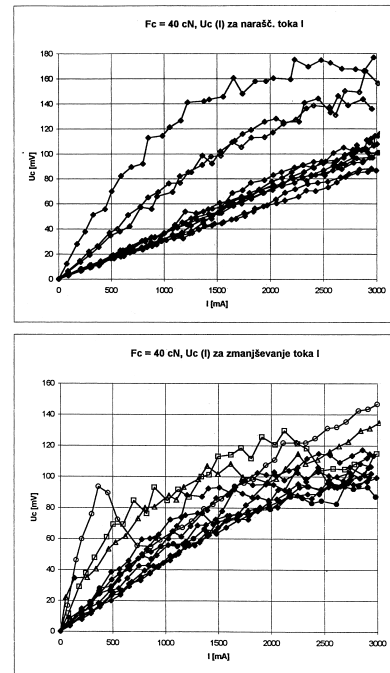
Slika 3: Kontaktno karakteristike $U_c(I)$ pasivacijske tanke plasti z voskanjem "Silverbrite" na kontaktnih parih AgNi0,15 v območju od $I=0A$ do $I=3,0A$ pri izbrani vrednosti kontaktno sile $F_c=3cN$ in $F_c=15cN$

Figure 3: Contact characteristics $U_c(I)$ of the pasivation thin layer obtained with the Silverbrite waxing on the AgNi0,15 contact pairs in the region from 0 to 3,0A at the contact force $F_c=3cN$ and $F_c=15cN$



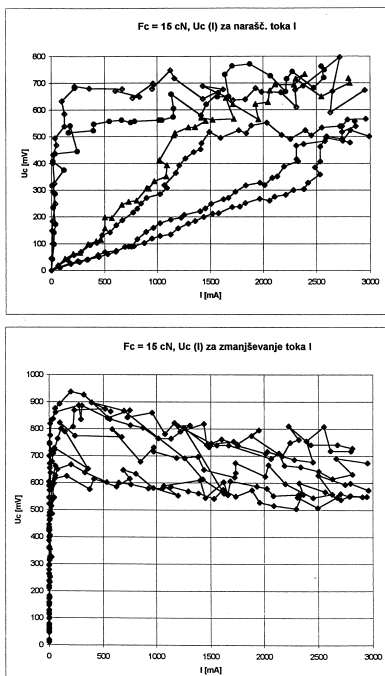
Slika 4: Kontaktne karakteristike $U_c(I)$ pasivacijske trde prevleke Cr/CrN na kontaktnih parih AgNi0,15 pri kontaktni sili $F_c=40\text{cN}$ za naraščanje in zmanjšanje toka I.

Figure 4: Contact characteristics $U_c(I)$ of the solid pasivacije Cr/CrN layer on the AgNi0,15 contact pairs at the constant contact force of 40cN for the increasing and decreasing of the electric current I



Slika 6: Kontaktne karakteristike $U_c(I)$ pasivacijske trde prevleke Ti/TiN na kontaktnih parih AgNi0,15 pri kontaktni sili $F_c=15\text{cN}$ za naraščanje in zmanjšanje toka I

Figure 6: Contact characteristics $U_c(I)$ of the solid pasivacije Ti/TiN layer on the AgNi0,15 contact pairs at the constant contact force of 15cN for the increasing and decreasing of the electric current I



Slika 5: Kontaktne karakteristike $U_c(I)$ pasivacijske trde prevleke Ti/TiN na kontaktnih parih AgNi0,15 pri kontaktni sili $F_c=15\text{cN}$ za naraščanje in zmanjšanje toka I

Figure 5: Contact characteristics $U_c(I)$ of the solid pasivacije Ti/TiN layer on the AgNi0,15 contact pairs at the constant contact force of 15cN for the increasing and decreasing of the electric current I

Kontaktne karakteristike kot funkcija toka I so bile sistematsko izmerjene na vseh štirih tipih pasivacijskih tankih plasti. Meritev $U_c(I)$ je bila opravljena na desetih mestih vsakega vzorca kontaktnega para z medsebojnim razmikom 1 mm in na več vzorcih z isto vrsto pasivacijske tanke plasti. Vsak kontaktni par je bil merjen na stiku prekržanih kontaktnih trakov. Najznačilnejši primeri meritev kontaktnih karakteristik $U_c(I)$ so podani v diagramih na slikah 2 do 6.

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

- Pasivacija s kromatiranjem: pasivacijska plast je odporna na preskus z raztopino K_2S , vendar je zelo tanka in jo z enominutnim jedkanjem v vodikovi RF-plazmi popolnoma odstranimo. Kontaktno mesto (Slika 2) na kromatirani stični površini kaže na prevodnost kovinsko čiste kontaktne površine, saj so rezultirajoče $U_c(I)$ - karakteristike linearne na vsem merjenem tokovnem intervalu od 0 do 3000 mA. Na celotnem merjenem tokovnem intervalu lahko za vsako karakteristiko določimo kontaktno upornost R_c . Ta je pri sili $F_c=3\text{cN}$ na različnih kontaktnih mestih vzorčnih kontaktnih parov $0,8\text{m}\Omega < R_c < 2\text{m}\Omega$ pri sili $F_c=15\text{cN}$ pa $0,5\text{m}\Omega < R_c < 0,8\text{m}\Omega$.
- Pasivacija z voskanjem: plast voska je odporna na standardni preskus sulfidiranja s K_2S . Pasivirana substanca je vezana na podlago le z adhezijo, saj jo

po enominutni izpostavi v vodikovi RF plazmi z Augerjevim spektrometrom ni mogoče več zaznati. Ta zaščitna prevleka omogoča prevajanje toka pri ekstremno nizkih kontaktnih silah. Pri sili $F_c=3$ cN (**Slika 3**) so bili za karakteristiko $U_c(I)$ dobljeni naslednji rezultati: za tok, večji od 200 mA pa do zgornje merske vrednosti 3000 mA, je izrazit napetostni nivo pri 55 ± 5 mV. V prehodnem intervalu za tok I od 0 do 200 mA se lahko karakteristika $U_c(I)$ dvigne do vrednosti največ 90 mV. Dobljene karakteristike $U_c(I)$ izkazujejo visoko stopnjo ponovljivosti. Pri sili $F_c=15$ cN so karakteristike $U_c(I)$ enake kot pri sili 3 cN. Zaradi večje kontaktne sile F_c pa je dosežen napetostni nivo 300 mA do 500 mA. To pomeni, da je začetni dvig $U_c(I)$ položnejši oz. ima manjšo kontaktno upornost.

- c) Pasivacija s trdo prevleko Cr/CrN: pasivacijska plast je izredno trda in slabo električno prevodna. Stabilen kontakt je dosežen (**Slika 4**) šele pri kontaktni sili $F_c=40$ cN. Karakteristike $U_c(I)$ izkazujejo visoko vrednost napetostnega nivoja približno 1100 ± 100 mV, ki je dosežena pri okrog 500mA. Majhna histereza karakteristike $U_c(I)$ pri naraščanju in zmanjševanju toka I kaže na izjemno termično stabilnost prevleke kromovega nitrida.
- d) Pasivacija s trdo prevleko Ti/TiN: plast nitrida je dobro kemijsko vezana in je obdelava v vodikovi RF-plazmi ne odstrani. Kemijska obstojnost za agresivne vplive okolice je odlična. Plast ima površinsko upornost dovolj majhno, da je bilo pričakovati relativno dobre kontaktne lastnosti. Zaradi svoje trdote je električni stik pri kontaktni sili $F_c=15$ cN (**slika 5**) precej nestabilen, čeprav v približno polovico merjenih karakteristik $U_c(I)$ narašča linearno do približno 2 A z $100\text{m}\Omega < R_c < 300\text{m}\Omega$. Za drugo polovico pa je izrazit napetostni nivo pri $500\text{mV} < U_c < 700$ mV s precejšnjo nestabilnostjo stika. Povratne karakteristike pri zmanjševanju toka od 3000 mA nazaj proti 0 izkazujejo celo naraščanje vrednosti napetostnega nivoja od 600 ± 100 mV do 900 mV pri nekaj 10 mA, ker plast postane izolacijska. Pojav kaže na termično degradacijo titan nitrida in tvorbo Ti-oksida. Pri kontaktni sili $F_c = 40$ cN (**slika 6**) so $U_c(I)$ -karakteristike večinoma linearne do 3000 mA z $30\text{m}\Omega < R_c < 50\text{m}\Omega$.

Izmerjene kontaktne karakteristike kot funkcija $U_c(I)$, dobljene v različnih točkah kontaktne površine štirih

pasivacijskih plasti, se lahko med seboj precej razlikujejo. Izmerjene funkcije kažejo obseg tipov od skoraj popolne linearnosti, preko naraščajoče stopnje konveksnosti do strmega dviga v konstanten napetostni nivo. Meritve vzorčnih kontaktov so najpogosteje sledile linearni funkciji in izražajo konstantne razmere na kontaktnem mestu.

4 SKLEPI

Pasivacija s kromatiranjem kontaktnega materiala AgNi_{0,15} je glede kontaktnih lastnosti zelo dobra. Primerna je predvsem za industrijske releje za nazivne napetosti do 5V in tokove do 3A.

Pasivacija z voskanjem kontaktnega materiala AgNi_{0,15} je primerna za kontakte relejev za tokove reda velikosti nad 1A in za tokokroge, kjer je dopustni padec napetosti pod 100mV.

Pasivacija s trdo prevleko Ti/TiN na kontaktnem materialu AgNi_{0,15} je zaradi dobrih kontaktnih lastnosti pri večjih kontaktnih silah (15cN, 40cN), dobrih drsnih in obrabnih lastnostih primerna za kontakte z velikim številom preklonov in veliko kontaktno zanesljivostjo (npr. za konektorske kontakte).

Pasivacija s trdo prevleko Cr/CrN na AgNi_{0,15} kontaktnem materialu ni primerna za električne kontakte zaradi velikega segregiranja kontaktov pri sorazmerno majhnih tokovih.

Kemijska obstojnost za agresivne vplive okolice pa je odlična pri vseh štirih vrstah nanosov pasivacijskih tankih plasti.

5 LITERATURA

- ¹ A.K. Rudolphi, S. Jacobson, *Surface Coatings Technology*, 89 (1997) 270-278
- ² J. Ganz, *Metalloberfläche* 45 (1991) 11, 491-495
- ³ M. Bizjak, L. Koller, K. Požun, J. Leskovšek, *ICEC'98 Offenbach*, VDE-Verlag 1998, 47-51
- ⁴ L. Koller, M. Mozetič, K. Požun, M. Bizjak, S. Vrhovec, *Kovine zlit. tehnol.*, 32 (1998) 3-4, 255-257
- ⁵ J. Schimkat, H.-J. Gewatter, L. Kiesewetter, *F&M* 104 (1996) 7-8, 515-518
- ⁶ "Kromating AG-797100", User Manual, Kemična tovarna Podnart
- ⁷ Doduco Datenbuch, 2. Aufl. Pforzheim, 1997
- ⁸ B. Navinšek, P. Panjan, J. Krušič, *Service in Coating Technology*, 98 (1998) 809-815
- ⁹ H. Grossman, M. Huck, E. Marka, *Galvanotechnic* 82 (1991) 1, 3-7
- ¹⁰ M. Mozetič, B. Praček, *Informacije MIDEM* 28 (1998) 3, 171-174