

# LASTNOSTI ELEKTRIČNIH KONTAKTOV NA OSNOVI SREBRA V RAZMERAH TEHNOLOŠKEGA ONESNAŽENJA IN INDUSTRIJSKE ATMOSFERE

## CHARACTERISTICS OF Ag-BASED ELECTRIC CONTACTS UNDER THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL CONTAMINATION AND INDUSTRIAL ENVIRONMENT

**Martin Bizjak**

Iskra Stikala, d.d., Savska loka 4, 4000 Kranj

*Prejem rokopisa - received: 1998-11-10; sprejem za objavo - accepted for publications: 1999-02-09*

Srebrni kontaktni materiali, kakršne uporabljamo v stikalnih aparatih za upravljanje električnih naprav in javljanje, so podvrženi škodljivim vplivom okolja, v katerem delujejo, včasih pa se na kontaktih zaznajo tudi vplivi neprimernih tehnoloških postopkov izdelave. Ti se kažejo v mikrostrukturi stičnih površin na kontaktnem mestu. Kadar so na stični površini plasti nečistoč kakršnega koli porekla, podatek o kontaktni upornosti ni merodajen za oceno lastnosti kontakta, ker je pri stakljenih kontaktih odvisnost med kontaktno napetostjo  $U_c$  in tokom skozi kontakt  $I$  v splošnem nelinearna in lahko doseže izrazit napetostni nivo. Ta pojav smo izkoristili pri raziskavi vpliva nečistoč na kontaktih pri izdelavi njihovih delov, zaradi čistilnih postopkov in pod vplivom okoliške atmosfere.

Ključne besede: kontaktni materiali na osnovi srebra, tanke plasti nečistoč, kontaktna napetost, nelinearnost kontaktnih lastnosti, napetostni nivo

Silver-based contacts, commonly used for switching in control of electrical devices and signaling, suffer from the functional degradation due to environmental conditions. Sometimes the influence of unsuitable manufacturing technology can be indicated. They results in the microstructure and conditions of contact spot. Particularly when the surface films are presented on contacts, the results of contact resistance does not indicate the complete state of contact characteristics, while the relation of contact voltage fall versus current through contact spot at closed contacts is in general nonlinear or even tends to achieve some distinct level. This effect was applied in order to research possible contamination influence of manufacturing technologies, various cleaning methods, and the influence of polluted industrial environments.

Key words: silver-based contact materials, thin contaminating films, contact voltage fall, nonlinearity of contact characteristics, voltage leveling

### 1 UVOD

Stikala za upravljanje električnih naprav in javljanje njihovega stanja preklaplajo toke velikostnega reda 1 A pri napetosti vira, ki je večja od 10 V. Na stičnih mestih so kontaktne obloge v obliki kovic ali ploščic iz kontaktnega materiala na osnovi srebra. Lastnosti srebra (Ag) kot izvrstnega električnega prevodnika z veliko korozijsko odpornostjo, posebno primerne za kontakte stikal, so poznane že iz začetkov elektrotehnike. V časih nizke stopnje onesnaženosti ozračja z žveplovim dioksidom, dušikovimi oksidi in halogeni je bila slaba stran srebra za kontakte njegova velika mehanska deformabilnost, kar so izboljšali z dodatkom nekaj odstotkov bakra. Namesto čistega Ag se tako za kontakte uporablja zlitine AgCu 3÷15%. Z naraščanjem industrializacije in s tem povezanim onesnaženjem ozračja je nastal problem sulfidiranja srebrnih kontaktov. Zaznali so ga najprej v relejih za telefonijo, kjer so zaradi majhnih tokov kontakti občutljivi za površinske nečistoče. Dodatek 10÷50% Pd v zlitini AgPd 10÷50 poveča odpornost proti sulfidiranju, sorazmerno vsebnosti Pd.

Za kontakte stikal v upravljalnih in javljalnih tokokrogih uporabljamo zaradi funkcionalnih in stroškovnih razlogov v glavnem dodatke niklja, kovinskih oksidov in grafita v zlitini AgNi 0.15, zmesih Ag/Ni 10÷40, Ag/CdO 10÷15, Ag/SnO<sub>2</sub> 10÷12 in Ag/C 3÷15. Ti dodatki niso namenjeni za povečanje odpornosti proti atmosferskim vplivom, zato se na površini tovrstnih materialov v industrijski atmosferi rade pojavljajo plasti slabo prevodnega Ag<sub>2</sub>S, pa tudi AgCl in Ag-nitritov. Le v posebnih razmerah se tvori tudi Ag-oksidi. Tudi če so te plasti debele samo 10 nm, zaznavno poslabšajo kontaktne lastnosti.

Na kontaktne lastnosti slabo vplivajo tudi tanke in težko zaznavne plasti tehnoloških nečistoč, maziv, prstni odtisi in podobno. Tanke plasti te vrste lahko ostanejo na površini kontaktov tudi po neustrezno opravljenih postopkih čiščenja kontaktnih delov pred vgradnjo. Poznani so tudi škodljivi vplivi organskih nečistoč v obliki par<sup>1</sup>, ki jih oddajajo deli stikala iz polimernih materialov<sup>2</sup>.

Vpliv industrijske atmosfere na kontaktne lastnosti materialov za kontakte stikal za upravljanje in javljanje ter učinkovitost nekaterih pogosteje uporabljenih čistilnih postopkov sta bila raziskana na vzorčnih

kontaktnih parih iz materialov AgNi 0.15, Ag/Ni 10 in Ag/CdO 10.

## 2 PRIPRAVA VZORČNIH KONTAKTOV

Kontaktne pari so bili izdelani iz traku širine 2,6 mm in debeline 0,3 mm. Kontaktna stran je bila po širini zaobljena s polmerom 9 mm. Iz traku so bili narezani okrog 5 cm dolgi vzorci, ki so bili površinsko predobdelani:

- čiščenje v ultrazvočni kopeli freona (kloro-fluorogljik). Čistilo smo izbrali zaradi njegove učinkovitosti, vendar pa smo želeli preveriti, ali se zaradi vsebnosti Cl v njem lahko tvori na srebrni površini tanka plast AgCl in ali po čiščenju ostanejo na kontaktih kake druge tanke plasti.
- vakuumsko izplinjanje površin pri povišani temperaturi: metoda se precej uporablja v vakuumski tehniki. Način čiščenja je izbran zaradi hipotetične možnosti nastanka kompaktnih plasti težje hlapnih komponent.
- površinska obdelava v vodikovi plazmi: metoda zaradi okoljevarstvene neoporečnosti zamenjuje druge metode čiščenja in ne pušča ostankov čistilnega sredstva.
- izpostava vlažni atmosferi z dodatkom H<sub>2</sub>S: tvori se površinsko plast Ag<sub>2</sub>S. Površina vzorca je bila pred izpostavo plinu H<sub>2</sub>S očiščena v ultrazvočni kopeli freona in v vodikovi plazmi, da bi dobili na kontaktni površini le tanko plast Ag-sulfida.

Površinsko obdelani vzorci so bili v vmesnem času do meritev zaščiteni proti prahu, čeprav je bilo med meritvijo nemogoče docela odpraviti vpliv prahu.

## 3 MERSKA METODA ZA OVREDNOTENJE KONTAKTNIH LASTNOSTI

Za določitev kontaktnih lastnosti vzorcev po različnih površinskih obdelavah je bila izbrana metoda merjenja kontaktne napetosti  $U_c$  na staknjenem kontaktnem paru, ki je posledica prehoda toka  $I$  skozi kontaktno mesto. Zveza med  $U_c$  in neodvisno spremenljivko  $I$  je bila dobljena iz serije meritev  $U_c$  pri toku  $I$ , ki se je med meritvijo spreminjal po času  $t$  v enakih korakih v intervalu od 0 do 3,0 A. Izbrani način merjenja je splošnejša metoda meritve kontaktne upornosti  $R_c$ .

Kontaktne lastnosti so odvisne tudi od sile kontaktnega stiska  $F_c$ , zato smo jo uvedli kot parameter, ki je bil med meritvijo  $U_c$  konstanten. Najmanjša sila  $F_c$ , ki je še dopuščala meritve, je bila 3 cN. Pri manjših silah pa zaradi vibracij različnega izvora iz okolice kljub ukrepom za zmanjšanje njihovega vpliva meritve niso bile smiselne. Naslednja velikost sile  $F_c$  15 cN je bila izbrana glede na rezultate predhodnih meritev in je v

kritičnem območju vrednosti; od tod navzgor je zagotovljen zanesljiv in stabilen električni stik.

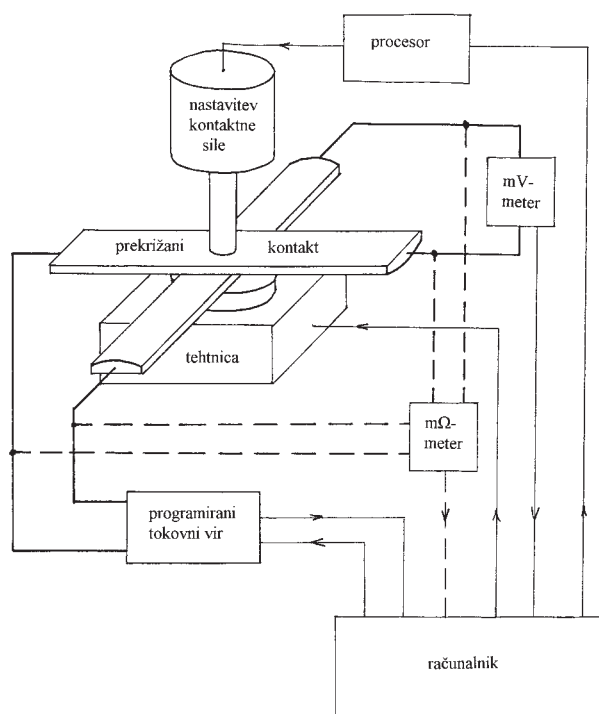
Vsak kontaktni par je bil merjen na stiku prekrizanih kontaktnih trakov (metoda "crossed rods"), kjer sta bila po dva sosednja kraka tokovna priključka, med drugima dvema pa smo merili  $U_c$ . Na kontaktnih parih so bile opravljene meritve karakteristike  $U_c(I)$  na 5 stičnih mestih vzdolž kontakta z medsebojnim razmikom 1 mm.

## 4 MERILNI SISTEM

Uporabljeni merilni sistem s komponentami za upravljanje, nastavljanje merskih parametrov in merilnimi inštrumenti je shematsko prikazan na **sliki 1**.

Na vpenjalo z nosilci prekrizanih kontakto je spodnji nosilec togo zvezan z elektronsko tehtnico, zgornjega pa premika servomotor, ki ga upravlja računalnik po podatkih tehtnice, tako da programirano nastavlja, vzdržuje ali spreminja potek sile  $F_c$ . Sistem servomotorjev omogoča tudi nastavitve stičnega mesta na drugo lokacijo s posebno pozornostjo na mehak stik obeh kontaktnih parov pri ponovni sklenitvi kontakta.

Sistem za meritve električnih količin sestavlja računalniško programiran tokovni vir za tok  $I$  in milivoltmeter za merjenje  $U_c$ . Računalnik upravlja spreminjanje toka  $I$  v tokovnem viru v 10-sekundnih korakih in na koncu vsakega, ko je dosežena termična stabilizacija stičnega mesta, odčita  $U_c$ . Pari izmerjenih vrednosti, ki se shranjujejo v računalniški spomin,



**Slika 1:** Shematski prikaz merilnega sistema s komponentami za upravljanje poteka meritve in z merilnimi inštrumenti

**Figure 1:** The schematic presentation of measuring equipment consisting of control and measuring components

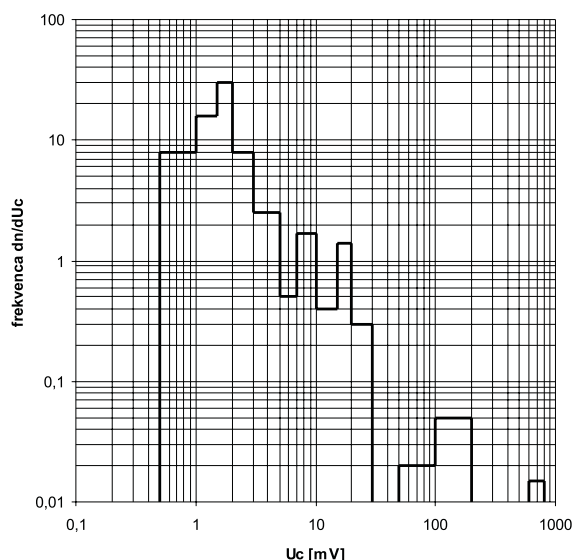
podajajo funkcijo kontaktne karakteristike  $U_c(I)$  v območju od začetne vrednosti pri  $I = 0$  A do zgornje meje  $I = 3,0$  A pri izbrani vrednosti  $F_c$  kot parametru.

## 5 REZULTATI MERITEV $U_c(I)$

Kontaktne karakteristike kot funkcija toka  $I$  so bile sistematsko izmerjene na kontaktnih parih iz AgNi 0.15, Ag/Ni 10 in Ag/CdO 10, ki so bili različno površinsko obdelani: s freonom, plazmo in sulfidiranjem. Rezultati po vakuumskem izplinjanju so bili slabši od pričakovanj in tudi z uporabniškega stališča relativno nezanimivi zaradi zahtevne tehnologije priprave površine vzorčnih kontaktov. Zato sistematskih meritev vakuumsko razplinjenih vzorcev nismo nadaljevali.

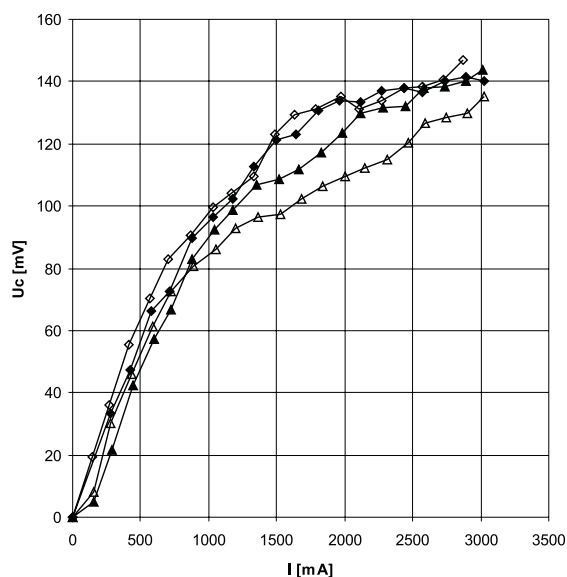
Izmerjene kontaktne karakteristike kot funkcije  $U_c(I)$ , dobljene v 5 različnih točkah kontaktne površine na opisanih različicah vzorcev kontaktov, se lahko precej razlikujejo med seboj na različnih stičnih mestih istega vzorca, čeprav so si nekatere z različnih vzorcev bolj podobne. Izmerjene funkcije izkazujejo obseg tipov od skoraj popolne linearnosti, preko naraščajoče stopnje konveksnosti, do strmega dviga v konstanten napetostni nivo.

Najpogostejši tip funkcij, izmerjenih pri vzorčnih kontaktih, je bila linearna funkcija, ki izraža konstantne razmere na kontaktnem mestu, zaznavna konveksnost funkcije pa nakazuje njegovo kompleksnejšo strukturo. Funkcije, ki dosežejo pri zgornji meji merilnega toka majhne vrednosti, to je pri  $U_c(3,0 \text{ A}) < 20$  mV, so praviloma linearne tipa z določljivo kontaktno upornostjo  $R_c$  kot parametrom z vrednostjo  $R_c < 5 \text{ m}\Omega$ .



**Slika 2:** Histogram porazdelitve vrednosti  $U_c$  pri zgornji meji merilnega toka 3,0 A za izmerjene kontaktne karakteristike brez izrazitega napetostnega nivoja

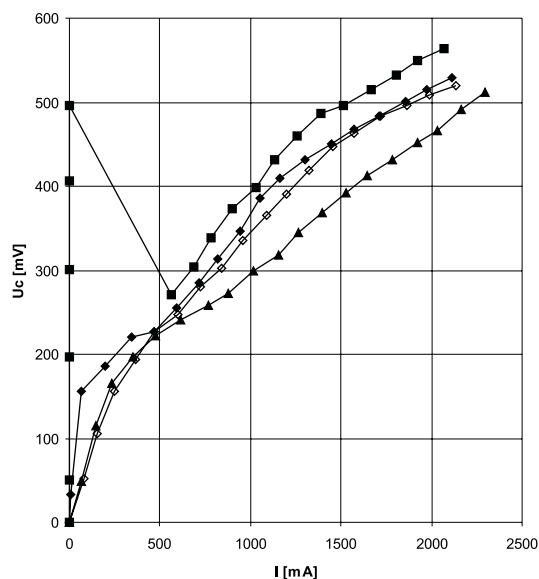
**Figure 2:** The distribution of  $U_c$  values at upper limit of measuring current range 3.0 A for obtained contact characteristics having no distinct voltage leveling



**Slika 3:** Nelinearna funkcija za kontaktne karakteristike prve manjše podskupine v histogramu porazdelitve (slika 2)

**Figure 3:** Nonlinear function of contact characteristics belonging to the first minor subgroup of statistical distribution, shown in **Figure 2**

Pri funkcijah z  $U_c(3,0 \text{ A}) \rightarrow 100$  mV ( $R_c \rightarrow 30 \text{ m}\Omega$ ) je zaznati že precejšnjo konveksnost in stopnja nelinearnosti narašča z večanjem  $U_c(3,0 \text{ A})$ . Pogostost porazdelitve vseh izmerjenih funkcij po razredih vrednosti  $U_c(3,0 \text{ A})$  je prikazan s histogramom porazdelitvene gostote na **sliki 2**. Na histogramu je mogoče razločiti, da so rezultati grupirani v eno veliko in dve manjši skupini: glavna skupina z največ zastopniki



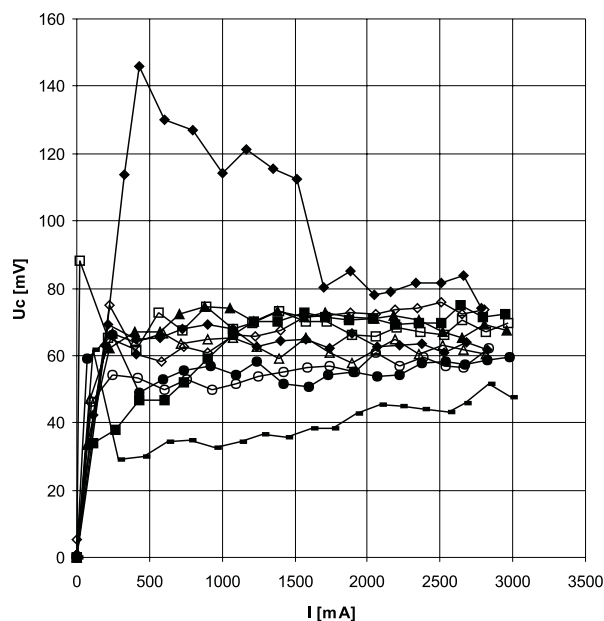
**Slika 4:** Nelinearna funkcija za kontaktne karakteristike druge manjše podskupine v histogramu porazdelitve (slika 2)

**Figure 4:** Nonlinear function for contact characteristics of second minor subgroup of statistical distribution, shown in **Figure 2**

pripada razredom vrednosti  $U_c(3,0 \text{ A}) < 30 \text{ mV}$ , prva manjša skupina v razredu  $U_c(3,0 \text{ A})$  med 100 in 200 mV in druga manjša med 600 in 800 mV. Medtem ko je za glavno skupino porazdelitve značilna pretežna linearnost karakteristik, lahko tudi v karakteristikah obeh manjših porazdelitvenih skupin razpoznamo skupne značilnosti: za skupino s porazdelitvijo pretežno v  $100 \text{ mV} < U_c(3,0 \text{ A}) < 200 \text{ mV}$  so njene kontaktne karakteristike  $U_c(I)$  prikazane na **sliki 3**, za skupino v intervalu  $600 \text{ mV} < U_c(3,0 \text{ A}) < 800 \text{ mV}$  pa na **sliki 4**. Včasih se pojavi začetni dvig  $U_c(0)$ , kadar postane zaradi izolacijskih vključkov na kontaktnem mestu stik električno prevoden šele pri neki dovolj veliki napetosti, npr. pri 500 mV v primeru na **sliki 4**. Na tem kontaktnem mestu je ocenjena debelina izolacijske plasti  $5 \text{ nm}^3$ .

Kontaktne karakteristike  $U_c(I)$  z izrazitim napetostnim nivojem dosežejo nivojno vrednost pri toku  $I$  nekaj 100 mA. Značilni primer napetostnega nivoja je prikazan na **slikah 5 in 6**, kjer so zbrane karakteristike z več različnih kontaktnih mest. Pri nekaterih kaže strm začetni dvig  $U_c(I)$  na znane pojave, ki vzpostavljajo električno prevodnost kontaktnega mesta s prevleko plasti nečistoč<sup>4</sup>. Pri nadaljnjem večanju toka skozi kontakt poteka pri pretežno konstantni napetosti  $U_c$  pojav termične razgradnje plasti na kontaktni površini ("fritting")<sup>4,5</sup>. Iz meritev so bile ocenjene naslednje vrednosti napetostnih nivojev:  $30 \pm 5 \text{ mV}$ ,  $70 \pm 10 \text{ mV}$  in  $200 \pm 10 \text{ mV}$ .

Zveza med tipom izmerjenih kontaktnih karakteristik in pripadnost specificiranim različicam kontaktnih vzorcev je prikazana v **tabeli 1**, kjer so za vsak tip kontaktnega materiala, vrsto obdelave kontaktne



**Slika 5:** Primeri kontaktnih karakteristik z napetostnim nivojem med 50 mV in 70 mV

**Figure 5:** Examples of contact characteristics with voltage leveling at values between 50 mV and 70 mV

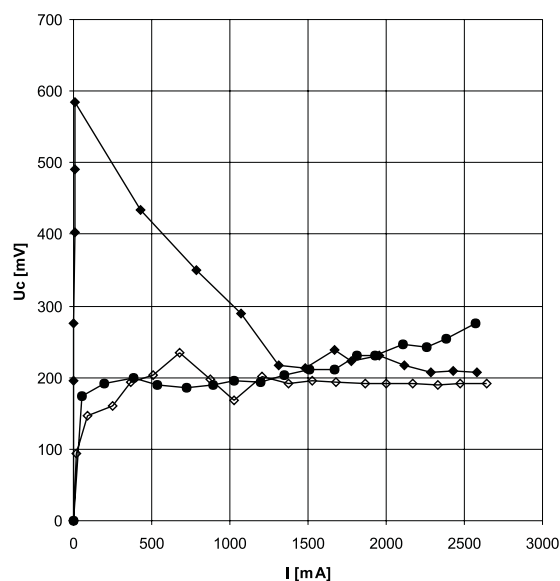
površine in kontaktno silo  $F_c$  (3 cN, 15 cN) podane vrednosti  $U_c$  pri 3,0 A; oznaka L poleg vrednosti pomeni karakteristiko z napetostnim nivojem (kot na **sliki 5 ali 6**).

Pri **tabeli 1** velja opozoriti na karakteristike z napetostnim nivojem 200 mV in na tiste z naraščajočo funkcijo, pri katerih  $U_c$  pri 3,0 A preseže 130 mV (**slika 2**); manjša skupina s porazdelitvijo v razredih 100 mV  $< U_c < 200 \text{ mV}$ , je bila dobljena izključno na vzorčnih kontaktih, izpostavljenih pred meritvijo atmosferi  $\text{H}_2\text{S}$ ).

Karakteristike z napetostnim nivojem 70 mV so bile dobljene le na kontaktnem materialu Ag/CdO po obdelavi v ultrazvočni kopeli freona in po postopku v plazmi, in to le pri majhnih kontaktnih stiskih  $F_c = 3 \text{ cN}$ . Napetostni nivo 30 mV se pojavlja, podobno kot pri 70 mV, za karakteristike s katerokoli od obeh nivojnih vrednosti pa ni mogoče trditi, da izražata bodisi lastnosti kontaktnega materiala določene vrste, bodisi značilnosti načina priprave kontaktne površine preiskovanih vzorcev.

## 6 DISKUSIJA

Rezultati meritev na vzorčnih kontaktih so odsev stanja stičnega mesta in jih lahko v neki meri uporabimo za indikacijo strukture kontaktne površine, kateri ti rezultati pripadajo. Pri dovolj velikih tokih dosežemo nivojno vrednost, ki je posledica strukturnih sprememb na stičnem mestu zaradi termičnih vzrokov, tudi na stiku dveh čistih kovinskih površin. Tako je za Ag z majhno vsebnostjo legirnih dodatkov ali za zmesne materiale na osnovi Ag napetostni nivo 0,39 V, kar ustreza temperaturi tališča Ag, ter 0,7 V pri temperaturi vrelišča<sup>6</sup>



**Slika 6:** Kontaktne karakteristike z napetostnim nivojem 200 mV, ki verjetno izraža značilnosti stika preko tanke plasti  $\text{Ag}_2\text{S}$

**Figure 6:** Contact characteristics with level voltage of 200 mV, reflecting presumably conduction of current through the interface of  $\text{Ag}_2\text{S}$  thin film

**Tabela 1:** Kontaktna napetost  $U_c$  pri največjem merilnem toku 3,0 A**Table 1:** Contact voltage fall  $U_c$  obtained at maximal measuring current of 3.0 A

| pov.obdel. | RF plazma  |      | freon + UZ |        | H <sub>2</sub> S |         |
|------------|------------|------|------------|--------|------------------|---------|
| $F_c$ [cN] | 3          | 15   | 3          | 15     | 3                | 15      |
| kont.mat.  | $U_c$ [mV] |      |            |        |                  |         |
| AgNi 0.15  | L 35,8     | 1,5  | 564        | 519    | 20               | 22,8    |
|            | L 34,2     | 1,2  | 529        | L 74,1 | 7,1              | 18,3    |
|            | 1,6        | 0,8  | L 33,4     | 21,4   | 7                | 18,3    |
|            | 1,4        | 0,7  | 4,6        | 6,5    | 3,8              | 16,1    |
|            | 1,1        | 0,6  | 1,9        | 3,4    | 2,7              | 15,7    |
|            |            |      | 1,6        |        |                  |         |
| Ag/Ni 10   | L 30       | 17,9 | 8,9        | 116,4  | L 276            | 135     |
|            | L 30       | 2,4  | 2,5        | 1,6    | 147              | 143,6   |
|            | L 24,4     | 1,8  | 1,8        | 1,5    | 87               | 140,2   |
|            | L 22       | 1,3  | 1,8        | 1      |                  |         |
|            | 14,3       | 1,3  | 1,6        | 0,8    |                  |         |
| Ag/CdO10   | 511,5      | 3,9  | L 73,5     | 13,4   | 15,8             | L 206,8 |
|            | L 72,5     | 2,4  | L 67,3     | 3,2    | 15,6             | L 191,1 |
|            | L 69,5     | 1,9  | L 62,1     | 2,8    | 7,4              | 1,9     |
|            | L 59,3     | 1    | L 61,9     | 2,1    | 7                | 1,7     |
|            | L 47,5     | 1    | L 60,3     | 2      | 1,6              | 1,5     |

tekočega kontaktnega mostička, ki se pri velikih tokih lahko pojavi na stičnem mestu. Nelinearnost funkcije kontaktne karakteristike  $U_c(I)$  je lahko posledica popuščanja trdote<sup>3,4</sup> zaradi rekristalizacije Ag in Ag-zmesi pri približno 200°C<sup>6</sup>. Iz osnovnih fizikalnih zakonitosti izhaja enolična zveza med največjo temperaturo kontaktnega mesta  $T_k$  in napetostjo nivoja  $U_c$ , ki z empiričnimi popravki podaja to relacijo za Ag v naslednji uporabni obliki:

$$T_k = 3100\sqrt{U_c^2 + 0,009} \quad (1)$$

kjer je  $T_k$  [K] določena pri izbranem  $U_c$  [V] z natančnostjo 10%, če je temperatura v intervalu 100°C <  $T_k$  < 500°C.

Rekristalizacija Ag (pri 200°C) pomeni prehod v nelinearnost pri nivojni vrednosti nad 120 mV. Nelinearne karakteristike z dvigom  $U_c$  med 130 mV in 150 mV (**slika 3**), ki so bile dobljene na sulfidiranih kontaktih, verjetno izražajo zmehčišče Ag na kovinskem stičnem delu površine kontaktnega mesta, ki je zaradi plasti Ag<sub>2</sub>S že v začetku močno zožano. Rekristalizacijski prehod ne kaže izrazitega napetostnega nivoja, pojav pa morda spremljajo še učinki zaradi ostankov plasti nečistoč.

Nelinearne karakteristike z dvigom  $U_c$  preko 500 mV verjetno izražajo pojave na stiku preko pregretega tekočega kovinskega mostiča iz Ag taline, ki je nastal zaradi zelo omejenega področja prevajanja toka kot posledica neugodne mikrotopografije kontaktnega mesta ali pri oteženem stiku zaradi tujih delcev. Pri nadaljnjem naraščanju toka bi  $U_c$  verjetno dosegla vrelišče Ag pri 0,7 V.

## 7 SKLEPI

Iz nivojnih vrednosti karakteristik so po enačbi (1) ocenjene temperature termične spremembe strukture kontaktnega mesta za merjene kontaktne vzorce. Računski rezultati so podani v **tabeli 2**.

**Tabela 2:** Ocena temperature stičnega mesta  $T_k$  iz  $U_c$  po izračunu iz (1)**Table 2:** Estimated temperature of contact spot  $T_k$  calculated from  $U_c$  by using Eq.(1)

| $U_c$ [mV] |       | $T_k$ [°C] |       |
|------------|-------|------------|-------|
| 190 <      | > 210 | 350 <      | > 400 |
| 60 <       | > 80  | 65 <       | > 85  |
| 34 <       | > 45  | 30 <       | > 40  |

Za sulfidirane kontakte je nivojna vrednost  $U_c$  prikazana na **sliki 6**, in je  $200 \pm 10$  mV. Ocenjena vrednost za temperaturo se dokaj dobro sklada s temperaturo tališča Ag<sub>2</sub>S<sup>5</sup>, zato lahko nivojno napetost karakteristik  $U_c(I)$  za sulfidirane vzorce pripišemo tališču plasti Ag-sulfida. Druge nivojne vrednosti, ki so navedene v **tabeli 2**, dajo po izračunu temperature pod 100°C, kar je zunaj področja z natančnostjo ocene 10%. Te so izmerjene na očiščenih kontaktnih vzorcih in pretežno pri majhnih silah  $F_c$ . Zato lahko sklepamo, da je na kontaktnem mestu prevleka tanke in mehansko precej deformabilne plasti. Ker se  $U_c(I)$  karakteristike različnih kontaktnih mest na istem vzorcu po značilnostih razlikujejo v širokem obsegu od linearne do nivojske, je plast nečistoč verjetno lokalizirana na več ozkih območjih na kontaktni površini. Odgovor na vprašanje, kako je bilo mogoče na očiščenih kontaktih zaznati prisotnost nečistoč, je verjetno treba iskati pri učinkovitosti čistilnih postopkov ali pri manipuliranju z vzorci pred

meritvijo, ker imajo plasti nečistoč značilnosti snovi, kot so razna mazalna sredstva, želatinaste snovi ali sledi prstnih odtisov. Manj verjetno smemo te karakteristike pripisati lastnosti kontaktnega materiala ali načinu priprave preiskovanega vzorca kontaktnega para, saj ni opazne korelacije. Očitno te kontaktne karakteristike pripadajo stični površini z zelo tankim nanosom, ki ni v zvezi z značilnostmi vzorca.

## 8 LITERATURA

- <sup>1</sup> W. Rieder, *IEEE CHMT*, 15 (1992) 166
- <sup>2</sup> L. Koller, M. Mozetič, K. Požun, M. Bizjak, S. Vrhovec, *Kovine, zlitine, tehnologije*, 32 (1998) 3-4, 255
- <sup>3</sup> M. Antler, *IEEE Circuit and Device Magazine*, 3 (1987) 2, 8-19
- <sup>4</sup> R. Holm, *Electrical Contact*, Springer, Berlin, 1967
- <sup>5</sup> A. Keil, *Verkstoffe für elektrische Kontakte*, Springer, Berlin, 1960
- <sup>6</sup> *DODUCO Datenbuch*, 2. Aufl., Pforzheim, 1977