

Vékonybevonatos felület-előkezelések ólommentes ónforrasztáshoz

Egészségünk és környezetünk védelme érdekében az iparban alkalmazott fémek és ötvözetek folyamatos fejlesztést igényelnek. Számos járműipari alkalmazáshoz kapcsolódó biztonságtechnikai, vezérlési és egyéb elektronikai feladatot ellátó nyomtatott áramköri lapok már többnyire ólommentes ónforrasztással készülnek, melyhez hozzá kell igazítani a forrasztandó fémes vezető felületek bevonatainak tulajdonságait. E területen leggyakrabban használt felületi bevonatok a nikkel, nikkel-foszfor, arany és ezüst alapúak. Jelen rövid tanulmányban elsődlegesen a kontaktredukciós mártó eljárással leválasztható ezüstbevonatok rézen való kialakítását befolyásoló kísérleti körülmények hatását, továbbá az ezüstfilmek korróziós viselkedését tárgyaljuk, melyek vizsgálatára a FORR-ÁSZ projekt keretében került sor. A leválasztott vékony ezüstretegek szennyezőelem-tartalmát és a réz-ezüst interdiffúziós keveredésének következményét GD-OES (Glow Discharge Optical Emission Spectrometry) és SNMS (Secunder Neutral Mass Spectrometry) mélységprofil analitikai vizsgálatokkal követtük nyomon.

1. Bevezetés

A Metallurgiai és Öntészeti Intézetben már több évtizedes hagyománya van a felülettechnikai kutatásoknak, amelyek közül a forrasztástechnikai területhez a kémiai nikkelbevonatok (ENP=Electroless Nickel Plating) ku-

tatását sorolhatjuk [1]. Nyomtatott áramköri lapok gyártásánál ugyanis elterjedten alkalmazzák a kémiai nikkel-foszfor bevonatokat a forrasztásra váró csatlakozó felületek előkészítésénél. Ebben az iparágban egyébként ehhez a feladathoz általában az

1. táblázatban összefoglalt megoldások

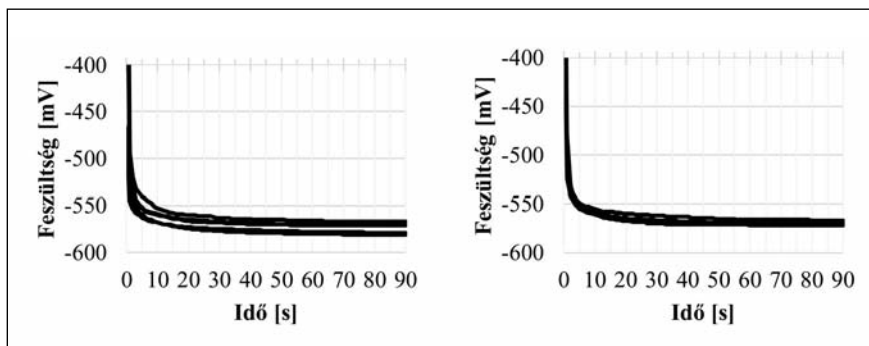
sokat használják réz hordozókon [2]. Az 1. táblázatból jól kivehető, hogy mennyire vékony fémbevonatokat alkalmaznak, különösen az ezüst és az arany esetében. Az anyagtakarékosság ellenére azonban mindegyik bevonattípusnak meg kell felelnie valamennyi minőségi előírásnak, melyek között nem elhanyagolható az esetleges korróziós károsodások megelőzése sem.

Kutatómunkánk során elsődleges célunk az volt, hogy néhány kontaktredukciós ezüstözési technikát laboratóriumi körülmények között kipróbáljunk annak érdekében, hogy az ilyen típusú vékonybevonatok előállításáról és nagyműszeres mélységprofil-elemzéses vizsgálati lehetőségekről bővebb ismereteket szerezzünk.

2. Laboratóriumi kísérletek

Kísérleteinket egyfajta mártóezüstöző leválasztási módszer laboratóriumi kidolgozásával kezdtük, hogy részleteiben is megismerjük a levá-

Megnevezések angolul	Felületkezelés módja	Tipikus alkalmazás és bevonatvastagság
HASL (Hot Air Surface Leveling)	Túziónozással bevonás forrólevegő-képes vastagságszabályozással	Forrasztandó felület (pad) megfelelő borítása
Lead Free HASL	HASL ólommentes ónolvadékkal	Forrasztandó felület (pad) megfelelő borítása
Immersion Tin (Imm Sn)	Ónozó oldatba mártással kémiai bevonatképzés (kontaktredukciós ónozás)	0,5 ... 1,3 μm
Immersion Silver (Imm Ag)	Ezüstöző oldatba mártással kémiai bevonatképzés (kontaktredukciós ezüstözés)	0,1 ... 0,3 μm
OSP/Entek (Organic Soldering Preservative)	Szerves (felületi oxidációt gátló adalékot tartalmazó) védőfilm	0,1 ... 0,6 μm
Immersion Gold (Imm Au)	Aranyozó oldatba mártással kémiai bevonatképzés (kontaktredukciós aranyozás)	Au alatt Ni: 2,5 ... 5 μm Au: 0,05 ... 0,1 μm
Hard Gold	Kemény arany	Au alatt Ni: 3,2 ... 3,8 μm Au: 0,6 ... 1 μm



■ **1. ábra.** Mártóezüstöző oldatba mérített réz mintalemezek potenciáljának változása (telített kalomel elektróddal, mint állandó potenciálú referenciával szemben) szerves oldószerben zsírtalanított (bal), illetve mechanikai úton, súrolással alaposan megtisztított mintalemezek esetében (jobb), a mártási idő függvényében

lasztási körülmények hatásait és az esetlegesen felbukkanó kedvezőtlen, például a felületi korróziós jelenségek alapvető kiváltó okait. A bevonásra szánt vékony rézlemez (Imaro/Eltech termék) felületi érdessége $R_a \approx 0,24 \mu\text{m}$ volt a fényes felületükön [3]. A mintegy $90 \mu\text{m}$ vastagságú rézlemeznek általában ezt a fényesebb hordozó felületét minősítettük ezüstözés után. A mintákat nagyteljesítményű, vékonyrétegek elemzésére alkalmas ködfénykisüléssel optikai emissziós spektrometriával (GD-OES, Glow Discharge Optical Emission Spectrometry) és másodlagos semleges részecske tömegspektrometriával (SNMS, Secondary Neutral Mass Spectrometry) vizsgáltuk.

2.1. Előkísérletek: rézfóliák mártóezüstözése

Mivel az iparban egyre inkább fontos szempont a környezetvédelem és az energiatakarékosság, ezért a kísérletekhez egy ciánmentes kontaktredukciós módszert választottunk, olyat, amely a galvántechnikai leválasztási módszerekkel szemben még külső elektromos áramot sem igényel [4].

A kontaktredukciós ezüstözés módszere három fő lépésből áll:

- felülettisztítás
- pácolás
- ezüstöző fürdőbe mártás.

A felülettisztítás elengedhetetlen lépése minden felülettechnikai eljárásnak. A vékony rézlemez felületét először vegyileg zsírtalanítottuk (PUR mosogatószerrel, 40°C -os csapvízzel és szivaccsal), majd az alaposabb tisztítás érdekében huszonöt percre

acetonos fürdőben ultrahang-besugárással kezeltük.

A pácolás $\sim 2\%$ -os HNO_3 oldatban történt, idejét korábbi tapasztalatok alapján három és hét perc közöttinek választottuk. A túl hosszú pácolási idő túlzottan simává teszi a felületet, így gátolja a megfelelő bevonat létrejöttét. A nem elég hosszú ideig tisztított felület pedig nem marad meg kellő mértékben, így maradhat nemkívánatos oxid is a felületén. Ugyanakkor a három, illetve hét perces pácolt minták felületén nem fedeztünk fel lényeges különbséget a minták felületi tulajdonságaiban.

Az ezüstöző fürdőbe történő beemelés az ezüsttel bevonó technológia másik kritikus lépése. Az általunk választott mártóezüstöző oldat összetétele: $7,5 \text{ g/l AgNO}_3$, $100 \text{ ml } 25\%$ -os vizes NH_3 oldat, és $105 \text{ g/l Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ [4]. Elkészítése: először bő vízben feloldjuk az ezüst-nitrátot, majd hozzáadjuk az ammóniát. Ezt követően folyamatos keverés mellett beadagoljuk a nátrium-tioszulfátot. Az elkészült oldat színtelen, átlátszó, és mivel az ezüstvegyületek fényre érzékenyek, célszerű az elkészült oldatot fénytől védett helyen tárolni.

A rézlemez ezüstöző oldatba való merítése után azonnal megkezdődik a bevonat leválása. A kísérletek során kiderült, hogy a túl hosszú mártási idő esetenként nem kívánt következménnyel jár: egyes mintáknál a frissen kialakuló vékony ezüstbevonat mintegy $1,5$ perc után elkezdett leválni; két perc eltelté után először csak a széleken, és öt perces mártás után esetenként már nagyobb, összefüggő, fóliászerű formában.

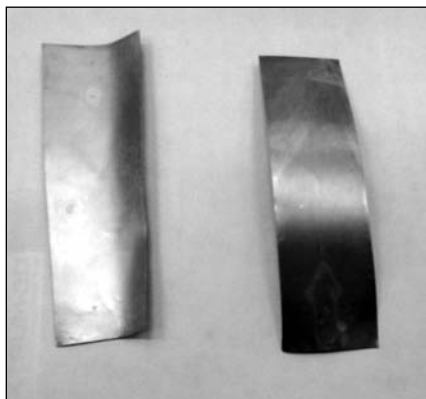
Fontosnak bizonyult a kezelést követő szárítás is. Az első kísérleteknél készült mintákon jól megfigyelhető volt a száradás nyoma, azaz hogy hol maradt tovább folyadék a felületen. Ezért a mintákat az ezüstöző fürdőből való eltávolítás után először 2 percre desztillált vizes ultrahangos fürdőbe helyeztük, hogy a felületen esetlegesen keletkezett üledéket eltávolítsuk, majd a lehető legrövidebb idő alatt meleg levegővel szárítottuk. Az így előkészített minták felülete először homogén ezüstös színű volt, de rövid idő elteltével (~ 20 perc) sárga színűre színeződött. Amennyiben viszont a mintát nem szárítottuk meg, hanem desztillált vízben tároltuk, az elszíneződés jóval később kezdődött, és leggyakrabban nem sárgás, hanem inkább kékes árnyalatú lett az ezüstbevonatos rézlemez. További fontos megfigyelés volt, hogy a lemezt célszerű teljes terjedelmében a fürdőbe meríteni. Ellenkező esetben a folyadékszint felett egy kékes színű, réz-oxidos réteg alakulhat ki és kezd felfelé, a csupasz rézlemezre „felkúszni”. Ráadásul, ennek a korróziós gyűrűnek az anyaga szárításkor könnyen elszennyezheti az ép ezüstbevonatot.

Későbbi kísérletek során minden művelet előtt és után alkalmaztunk mosást és szárítást, mellyel minimálisra csökkentettük a foltosodás esélyét és a sárgulás sebessége is csökkent.

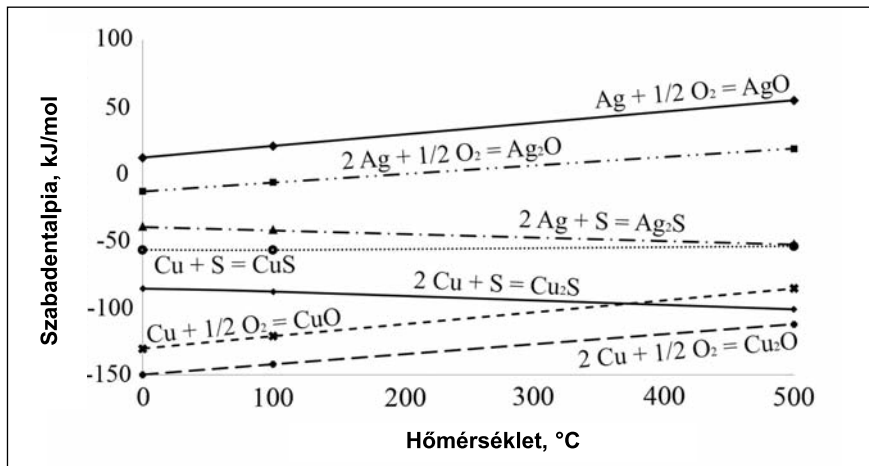
A tisztítás (zsírtalanítás) és pácolás megfelelőségét, illetve a leválás kinetikáját befolyásoló esetleges hatását az ezüstleválásra, megpróbáltuk az ezüsttel az oldatban tartózkodás alatt gyorsan bevonódó ezüst/réz mintalemezek időbeli potenciálváltozásának mérésével követni. (Referencia elektródként telített kalomel elektródot használtunk.) Öt mintalemeznél csak egyszerű zsírtalanítást, másik ötnél viszont erőteljesebb felületi tisztítást (dörzszivaccsal történő súrolást) is végeztünk. Az *1. ábrán* látható, hogy a gondosabban és mechanikai úton is tisztított felületű mintáknál mért feszültség értékek szórása kisebb.

2.2. Ezüstözés többszöri mártással

Az előkísérletek során felmerült a lemezek többszöri, ismételt bemár-



■ 2. ábra. Ezüstbevonatos réz mintalemezek. A bal oldali frissen szárított, fémes ezüstös árnyalatú. A jobb oldali már régebbi (~1 órás), rajta enyhe sárgás elszíneződéssel



■ 3. ábra. A réz és az ezüst oxidjainak és szulfidjainak képződési szabadentalpiái a hőmérséklet függvényében

tással történő ezüstözésének lehetősége. Ez utóbbi eljárás menete lényegében megfelelt az egyszerű mártásosnak, annyi eltéréssel, hogy a 1,5 perces oldattal történő érintkezési időt öt részre osztottuk, illetve az egyes merítések között is mostuk és szárítottuk a lemezeket. Végeredményben az ismételt mártással jobban tapadó, vastagabb és homogénebb, kevésbé pórusos réteget sikerült leválasztani, ami bizonyára a diffúziós folyamatokkal összefüggésbe hozható felületi korróziós jelenségekre is hatással van.

2.3. Ezüstbevonatok korróziós átalakulása

A 2. ábrán a jobb oldalon látható ezüstözött lemezen, szemmel jól láthatóan, sárgás elszíneződés jelent meg a levegőn tárolás közben. Ennek a korróziós jelenségnek a tanulmányozása ugyanakkor hosszabb múltra tekint vissza, és kiváló okai jobbra ismertek [5].

Közismert például az is, hogy a tiszta rézzel ellentétben, szabad levegőn az ezüst elsődlegesen nem a levegő oxigéntartalmával lép kémiai reakcióba, hanem annak kéntartalmú szennyezőivel (hidrogén-szulfid, kén-oxidok, szerves kénvegyületek). Ezt az egyszerű binér oxid-, illetve szulfidképződési termodinamikai szabadentalpia értékek összehasonlítása alapján is igazolhatjuk (3. ábra).

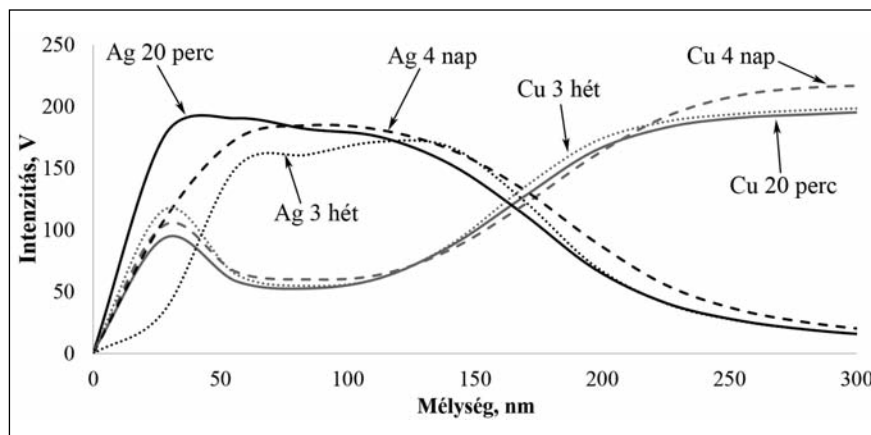
A HSC 5.0 adatbázis és szoftver [6] segítségével számolt termodinamikai egyensúlyi képződési szabadentalpia értékek összehasonlításából

egyértelműen kitűnik, hogy standard körülmények között és a vizsgált hőmérséklet-tartományban az ezüst (II)-oxid képződésének gyakorlatilag zérus, az ezüst(I)-szulfidnak pedig az ezüst(I)-oxidnál jóval nagyobb a képződési termodinamikai valószínűsége. A réz oxidjainak és szulfidjainak számolt standard képződési szabadentalpia értékei pedig azt mutatják, hogy ilyen körülmények között és az itt figyelembe vett tiszta rézvegyületek közül a réz-oxidok (elsődlegesen pedig a réz(I)-oxid) képződésének a legnagyobb a termodinamikai valószínűsége. A fentebb körvonalazott vegyülési hajlamokkal egyébként más kísérleti vizsgálatok is összhangban vannak; például az elektronikai panelgyártásra használt nagytisztaságú réz 10 perces és 260 °C hőmérsékleten, levegőn történt oxidálása után közel 37 nm vastagon Cu_2O réteget, és azon legfeljebb 2 nm vastag CuO réteget tudtak kimu-

tatni [7]. Az ezüstről pedig egyértelműen látszik a vonatkozó adatsorok összehasonlításából, hogy az ezüst-szulfid (Ag_2S) képződési valószínűsége jóval nagyobb, mint az ezüst(I)-oxidé, sőt az Ag_2S képződési szabadentalpia értékei még növekednek is a hőmérséklettel, míg az ezüst(I)-oxidéi csökkennek (nagy hőmérsékleten az ezüst-oxid el is bomlik).

3. Kísérleti eredmények értékelése

Az előzetes laboratóriumi vizsgálatok során számos alkalommal találkoztunk a frissen ezüstözött minták enyhe sárgulásával, ami idővel (néhány óra elteltével) erősödött. Amikor az ezüstözött minták felülete a rézre emlékeztető színű volt, csaknem minden esetben ki is tudtuk mutatni réztartalmú anyag(ok) jelenlétét a leválasztott ezüstréteg felszínén GD-OES analízissel. Később, az eljárás finomításával már kevésbé gyorsan el-



■ 4. ábra. Egyszeri mártással ezüstözött rézfóliák GD-OES mélység profiljai (5 párhuzamos mérés átlaga) változó levegőn tárolási időtartamok esetén

színeződő, tartósabb és fémesebben ezüstös színű bevonatokat kaptunk.

Az ezüstözött rézminták felületállapotának változását három héten keresztül (20 perc, 1 óra, 2 óra, 4 óra, 1 nap, 2 nap, 4 nap, 1 hét, 3 hét) folyamatosan nyomon követtük. A 4. ábra foglalja össze a kísérletek során tapasztaltakat, amelyen az ezüst és a réz elemeloszlásainak változását szemléltetjük a mélység függvényében.

A 4. ábrán látható, hogy réz a mintegy 150-200 nm vastag ezüstbevonatban mindenhol kimutatható, sőt a levegővel érintkező külső (határ)felületen még nagyobb is az intenzitása. Ez egyértelműen arra utal, hogy a vékony ezüstbevonaton keresztül képes a réz kifelé diffundálni, s idővel fokozódik is ennek mennyisége az ezüstbevonaton.

Egy frissen ezüstözött rézlemezről készült SNMS mélységprofilon (5. ábra) még az is szembeűnő, hogy a mártóezüstözött lemezek felülete szerves (C-tartalmú) anyaggal is kissé elszennyeződhetett, sőt az ezüst/réz belső határfelület tartományában is nagyobb jelintenzitással detektáltuk a szenet. Ez arra utal, hogy a minták az elővigyázatos kezelés és tárolás ellenére kis mértékben szennyeződtek.

Kezdetben a réz intenzitása is gyorsan felfut, amiből a nagyon vékony ezüstbevonat pórusosságára lehet következtetni, de legalábbis a réz hordozónak (lemezkének) lehetnek ezüsttel jóval vékonyabban fedett részletei, vagyis a bevonatvastagság valószínűleg nem egyenletes a felületen. Ez összefüggésben van a hordozó felületi érdességével ($R_a \sim 1 \mu\text{m}$) is, de nem kizárható az sem, hogy a kontaktredukciós / Cu (hordozó) + Ag+(aq) Ag (bevonat) + Cu+ / Cu²⁺ (aq) folyamat során az oldatfázisba került rézionok egy része még szorbeáltan a felületen maradt. (A frissen ezüstözött lemezek öblítési módozatainak változtatásával ezt a lehetőséget a későbbiekben ellenőrizni lehet.)

Az oxigén mért jelintenzitása ugyanakkor viszonylag állandó szinten jelentkezett, nem utalva erősebb felületi oxidációra sem, ezen a felvételen.

Az 5. ábrán elsősorban a kén (S) intenzitásának lefutása érdekes, mely jól követi az ezüst intenzitásváltozást,

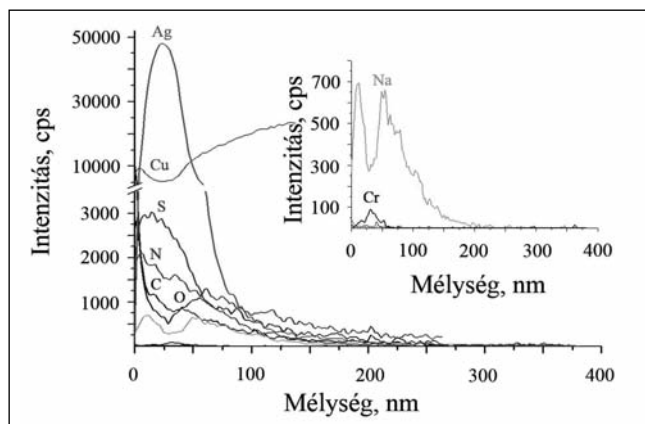
vagyis a tioszulfátos mártóezüstöző-oldatból a redukálódott ezüstbe kis mennyiségben kén is beépült. Ez a későbbi korróziós viselkedésére is kihatással lehet ennek a vékony ezüstfilmnek. A nátrium (Na) jelintenzitása lefutásában a kezdeti maximum részben felületi szennyezésnek, illetve az oldat nátriumtartalmából eredőnek tudható be. Kis mennyiségben a Na egyébként magában a bevonatban is detektálható volt.

Az oxigén kezdeti nagyobb jelintenzitása elsődlegesen a réz (és részben az ezüst) felületi oxidációjának a következménye. Erre utal a felületen megfigyelhető elszíneződés is.

4. Következtetések

Az ezüstdől készült, illetve ezüstözött termékeknél a mindennapi gyakorlatból szinte mindenki által nagyon jól ismert korróziós jelenség az ezüsttárgyak felületi elszíneződése, ún. feketedése. Ennek megelőzésére több évtizedes múltra visszatekintő próbálkozások történtek, és számos felületmódosítási (például ún. passziválási) eljárást, illetve kezelést kísérleteztek ki mind az ezüst ékszerek gyártásában tevékenykedők, mind pedig az ezüstbevonatokat egyre elterjedtebben alkalmazó mikroelektronikai ipari szakemberek, kutatók és anyagfejlesztő mérnökök [8, 9].

A közelmúltban Werner [10] olyan innovatív plazma polimerizációs kísérleti fejlesztési eredményről is beszámolt, amelyben plazmaaktiválással nagyon vékony fluoropolimer filmet sikerült képezniük a nyomtatott áramköri lapok forrasztásra váró fémbevonatos (pl. rézen ezüst vagy csupasz réz) és azokkal határos felületeken. Ez elégséges korrózióvédelmet biztosít a forrasztásra váró fémes felületeknek, és emellett úgy módosítja a környező felületek (solder mask) felületi feszültségét (nedvesít-



■ 5. ábra. Vizes oldatos mártóezüstözéssel bevont rézfólia SNMS mélységprofilja

hetőségét), hogy csökken az ún. kúszó korróziós áthidalások veszélye a fém (Cu) vezetőrétegek között. Másképpen fogalmazva, a zömében szulfidos korróziós termékek, ha keletkeznek is, kevésbé tudják nedvesíteni a fluoropolimeres filmmel bevont kontaktusokkal határos felületeket.

Vékony bevonatoknál, ahogy az ezüst/réz példáján láthattuk, az alap (szubsztrát) kémiai és elektrokémiai vegyülési hajlama és a szilárd külső bevonaton keresztül lehetséges diffúziós transzportja is kedvezőtlen hatással lehet a bevonat korrózióállóságára és adott célú (pl. forrasztással történő) továbbfelhasználására. Rézre leválasztott ezüst vékonybevonatok esetére ezért is szokták javasolni egy közbülső nikkelt (galván-nikkelt vagy kémiai ENP) réteg kialakítását, mely mintegy diffúziós gátként hivatott fékezni a réz és ezüst interdiffúziós keveredését.

5. Összefoglalás

A mikroelektronikai alkalmazások területén és az ólommentes önforgasztási gyakorlatban is fontos vékony fémbevonatok közül elsősorban a rézre mártó kontaktredukciós ezüstözéssel kialakított néhány száz nanométeres vastagságú ezüstbevonatok elemösszetételét és ezzel összefüggésbe hozható felületi korróziós elváltozását vizsgáltuk laboratóriumi körülmények között kialakított ezüstbevonatos réz mintalemezekben. Kompakt és jól tapadó ezüst vékonybevonat képzése szempontjából a tioszulfátos komplexbe vitt ezüst ionok redukációjához a hordozó (Cu) felületét nagyon gondo-

san kell oxidmentesíteni, hogy mindenféle szennyezéstől mentes és aktív fémes felület kerülhessen érintkezésbe az ammóniával lúgosított, tioszulfátos vizes mártóezüstöző oldattal. Kimutattuk, hogy a tioszulfátos oldatból a leválasztott ezüst bevonatba ugyanakkor kevés kén is beépült, ami káros lehet az ezüst felületi korróziós átalakulása szempontjából. Hosszabb tárolási idő után emellett még a hordozó réz atomjai is egyre nagyobb arányban voltak detektálhatók az ezüstbevonat felületén, ami önmagában is okozhat fokozottabb felületi elszíneződést a levegővel érintkező vékony ezüstbevonaton.

Köszönetnyilvánítás

A bemutatott kutatómunka a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0019 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalom

- [1] D. Takács, L. Sziráki, T. Török, J. Sólyom, Z. Gácsi, K. G-Solyomos: Effects of pre-treatments on the corrosion properties of electroless Ni-P layers deposited on aluminium AlMg2 alloy. *Surface and Coatings Technology* 201 (2007) 4526–4535.
- [2] www.epectec.com/downloads/surface-finishes.pdf 2013.10.28.
- [3] G. Lassú, Á. Radányi, Z. Gácsi, T. Török: Characterisation and GD-OES investigation of thin tin electroplated copper substrates used in the electronics industry. *Materials Science and Engineering* 39(1) (2014) 41–50.
- [4] S. Hirsch, C. Rosenstein: Immersion plating Metal Finishing 100 (Suppl.1) 2002. 423
- [5] Inaba M.: Tarnishing of Silver: A Short Review *Conservation Journal* 18(1) 1996
- [6] HSC Chemistry 5.0 termodinamikai adatbázis és szoftver; A.

Roine, Outokumpu Research Oy, (2002)

- [7] M. Ramirez, L. Hennekena, S. Virtanen: Oxidation kinetics of thin copper films and wetting behaviour of copper and Organic Solderability Preservatives (OSP) with lead-free solder. *Applied Surface Science* 267 (2011) 6481–6488.
- [8] Fáth R., Bán Gy., Haskó F.: Ezüstözött felületek szulfidálódás elleni védelme. II. Galván Symposium Előadásai, 1966. XII. 13–14. Budapest, GTE kiadványa, 10 oldal
- [9] T. Biestek: Galvanikusan leválasztott, passzívált ezüst bevonatok összehasonlító korróziós vizsgálata. II. Galván Symposium Előadásai, 1966. XII. 13-14. Budapest, GTE kiadványa, 1. oldal
- [10] T. V. Werner: Inhibition of Creep Corrosion Using Plasma Deposited Fluoropolymer Coating, *PCB Magazine*, Jan. 2012

CSIK ATTILA – TAKÁTS VIKTOR – HAKL JÓZSEF – VAD KÁLMÁN – TÓTH JÓZSEF – KÖVÉR LÁSZLÓ – TÖRÖK TAMÁS – KAPTAY GYÖRGY – LÉVAI GÁBOR – KUN ÉVA – SÓS DÁNIEL – GLODÁN GYÖRGYI – SZABÓ MÁTÉ

Ipari minták felületközeleli összetételének vizsgálata tömegspektrometriával

A másodlagos semleges részecske tömegspektrométer (SNMS – Secondary Neutral Mass Spectrometry) alkalmazási körét az adatfeldolgozási módszer fejlesztésével kiterjesztettük a nagy felületi érdességgel jellemezhető ipari minták vizsgálatára. Méréseinkben kontaktredukációs módszerrel leválasztott és tűzihorganyzással készített színes minták felületi oxidrétegeit, rézlemezekre galvanikusan leválasztott ezüst-rétegeket, valamint vegyi nikkelezéssel és mártó aranyozással (ENIG eljárással) készített ipari mintát vizsgáltunk. Az elemkoncentrációk mélységi eloszlásának meghatározásában néhány nanométer nagyságrendű felbontást sikerült elérnünk a néhány 100 µm-es értéket elérő felületi érdesség mellett. A meghatározott felületközeleli mélységi eloszlások alapvető információt szolgáltattak a minták tulajdonságaival kapcsolatos kérdésekre, a mintagyártás technológiájára, valamint az ipari minta rejtett hibáira.

Bevezetés

A modern technológiákban elért fejlődés egyértelmű kapcsolatot mutat a határfelületi tudományokban elért haladással. Ennek oka a határfelületek speciális szerepéből fakad, ugyanis a határfelületek alkotják azo-

kat a kapcsolódási „pontokat”, amelyek az anyag tulajdonságait talán a legdöntőbb mértékben meghatározzák. Így a határfelületek atomi skálájú tulajdonságai határoznak meg számos makroszkópikus jelenséget, mint például az abszorpció, oxidáció, korrózió, tartósság (pl. felületkeményítő

bevonatok), törési mechanizmusok, de említhetnénk akár a mikroelektronikai és orvosi eszközök megbízhatóságát, védőbevonatok tartósságát is [1–3].

A méretek csökkenésével és a vizsgálatok komplexitásának növekedésével a kémiai és fizikai jellemzés-