

Őn tűkristály képződés vizsgálata ólommentes forrasztási technológiáknál

Az ólommentes forrasztóanyagok felhasználását sok esetben nem kívánt tűkristály képződés is kíséri. Ezt a folyamatot sok tényező befolyásolja, melyek közül cikkünkben a mechanikai feszültség hatását illetve a csatlakozó felületen lévő ónréteg vastagságának hatását vizsgáltuk, figyelembe véve az oxidációs folyamatokat is. Tapasztalataink szerint mind a mechanikai feszültség emelése, mind a terhelési idő növelése több tűkristályt eredményez a terhelés első négy órájában. Az ónréteg vastagságát kettőről négy mikrométerre emelve átlagosan négyszer több tűkristály képződött, hőkezelés után pedig hatszor kevesebb (a vastagabb oxidréteg hatására).

Bevezetés

Az elmúlt néhány évtizedben az elektronikai ipar termelése jelentős mértékben növekedett, ráadásul az iparág termékei igen gyorsan avultak el a dinamikus technológiai fejlődés miatt. Ezen okok miatt az elektronikus hulladékibocsátás az egész világon megnőtt.

Komoly feladat ennek a folyamatnak a környezetre és az emberi egészségre gyakorolt hatását minimalizálni. Ezt a jelenséget a világ minden részén igyekeznek szabályozni, ami miatt a gyártók kénytelenek átállni a korábban használt ólommentes forrasztási technológiákra [1–5]. Az új rendszerben használt forrasztóötvetek előnyösek a környezetvédelem és az emberi egészségvédelem szempontjából. Viszont az új technológiákra való átállás (mint az esetek döntő többségében) a következő komoly problémákat veti fel:

- Pontosabb folyamatszabályozásra van szükség a rendszerben.
- A nagyobb forrasztási hőmérséklet

kicsivel magasabb energiaköltséget is jelent.

- A forrasztószerszám élettartama jelentősen csökken.
- Az új forrasztóötvetek legjelentősebb alkotóeleme az ón, ami drágább, mint az ólom, ezért az új forrasztóanyag is drágább lesz. Ha olyan ötvözetet használnak, ami ezüstöt is tartalmaz, akkor az árkülönbőség még nagyobb lesz.
- Az új ötvözetek nedvesítőképessége különbözik a hagyományostól.
- A magasabb óntartalom miatt az ón tűkristályok képződhetnek, ez igen jelentős veszélyforrás, ugyanis az egyre csökkenő méretű elektronikai alkatrészekben zavart, rosszabb esetben zárlatot okoznak (5–20% ólomtartalmú forrasztó/bevonatoló ötvözet még tűkristály mentesnek tekinthető) [6–8].

Az előbbi problémák közül a cikkben az ón tűkristály képződésével foglalkozunk. A két leggyakrabban használt anyag az új forrasztási és bevonatolási technológiáknál a réz és az ón. Ezért a kísérleteket az iparból származó ónnal bevont réz alkat-

részeken (csatlakozófelületeken) végeztük el. Célunk volt egy olyan kísérletsorozat elvégzése, amelynek segítségével ismereteket szerezhettünk a csatlakoztatás során fellépő mechanikai feszültség hatására a tűkristályok képződésére és növekedésére vonatkozóan, hogy ezáltal megérthessük a tűkristály képződésének mechanizmusát a csatlakozófelületen, a terhelési idő és a terhelő mechanikai feszültség [9], valamint az ón felületi rétegvastagságának függvényében.

Kísérleti körülmények

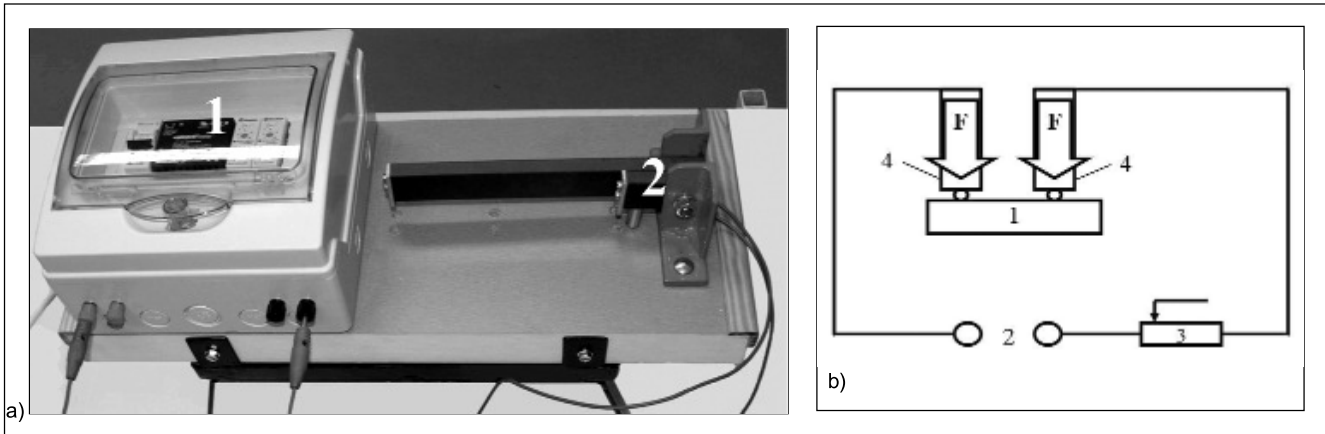
A kísérleti berendezés bemutatása

Hogy reprodukálható módon tudjunk kísérleteket végezni, el kellett készíteni egy speciális berendezést, amellyel képesek vagyunk mechanikai- és elektromos feszültség akár egyidejű vizsgálatára is. A berendezés fényképe az 1. ábrán, a berendezés működésének vázlatja és az elektromos feszültség kapcsolási rajza az 1. b. ábrán látható. A megépített készülék a vizsgálni kívánt érintkezők felületén előállított mechanikai feszültséget úgy hozza létre, hogy azt egy 2 mm átmérőjű réz rúddal vagy pedig egy gömbön ($r_1 = 1,5$ mm, illetve $r_1 = 3,5$ mm sugarú acélgolyón) keresztül F erővel terheli. Ebben az esetben a terhelési ponton fellépő mechanikus feszültség a Hertz-feszültség. Hertz-feszültség számítása a gömb-sík érintkezési pontjában:

Radányi Ádám BSc-oklevelet szerzett anyagmérnök szakon (2010), valamint MSc-oklevelet kohómérnök szakon (2012) a Miskolci Egyetemen. 2009 óta foglalkozik az ólommentes forrasztással, 2010-től pedig junior kutató a Miskolci Egyetem Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetében.

Sycheva Anna MSc-fokozatát kémia szakon (2003), PhD-fokozatát elektrokémiából szerezte a (2006) Kubányi Állami Egyetemen (Krasznodar, Oroszország). 2010 óta dolgozik a Miskolci Egyetem Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetében, és 2012-től ezzel párhuzamosan a Magyar Tudományos Akadémia Anyagtudományi Kutatócsoportjában végez pásztázó elektronmikroszkóppal és energiadiszipatív mikroszondával vizsgálatokat.

Gácsi Zoltán 1974-ben szerzett a Nehézipari Műszaki Egyetemen kohómérnöki diplomát, kohásztechnológia szakon. 1974-től tudományos ösztöndíjas gyakornok, 1975-től tanszéki mérnök, 1979-ben szerezte doktori fokozatát, 1993-ban lett a műszaki tudomány kandidátusa. 1988-tól egyetemi adjunktus, 1994-től egyetemi docens, 2004-től a Miskolci Egyetem Anyagtudományi Intézetének egyetemi tanára, a Műszaki Anyagtudományi Kar dékánja, s az MTA doktora. Érdeklődési területei: fémkompozitok előállítása, szerkezetvizsgálat, számítógépes képfeldolgozás és képelemzés.



■ **1. ábra.** A mechanikai és elektromos feszültség vizsgálatára kialakított berendezés fényképe a) 1– egyenáramú tápegység, 2 – lenyomatképző érintkezők; és kapcsolási rajza b) 1 – próbadarab, 2 – egyenáramú tápegység 24V, 3 – változtatható ellenállás, 4 – csatlakozó segédérintkezők

$$\sigma = (1/\pi) \{ [1,5 F E^2] / [r (1 - \lambda^2)]^2 \}^{1/3} = (F^{1/3}) (1/\pi) \{ [1,5 E^2] / [r (1 - \lambda^2)]^2 \}^{1/3} \quad (1)$$

ahol F – a felületeket összenyomó erő; $E = 2 [E_1 E_2 / (E_1 + E_2)]$ a rugalmassági modulus harmonikus középértéke, ha az érintkező anyagok rugalmassági modulusai E_1 és E_2 ; r – a gömb sugara; λ – az érintkező anyagának (jelen esetben az érintkezőt bevonó anyagnak, az ónnak) a Poisson-tényezője.

A vizsgálandó felületekre az F erő „segédérintkezők” által adódik át. A terhelő mechanikai feszültség szabá-

lyozására az F erő változtatása mellett a segédérintkező alakjának változtatásával is van lehetőségünk.

A vizsgált alkatrész bemutatása

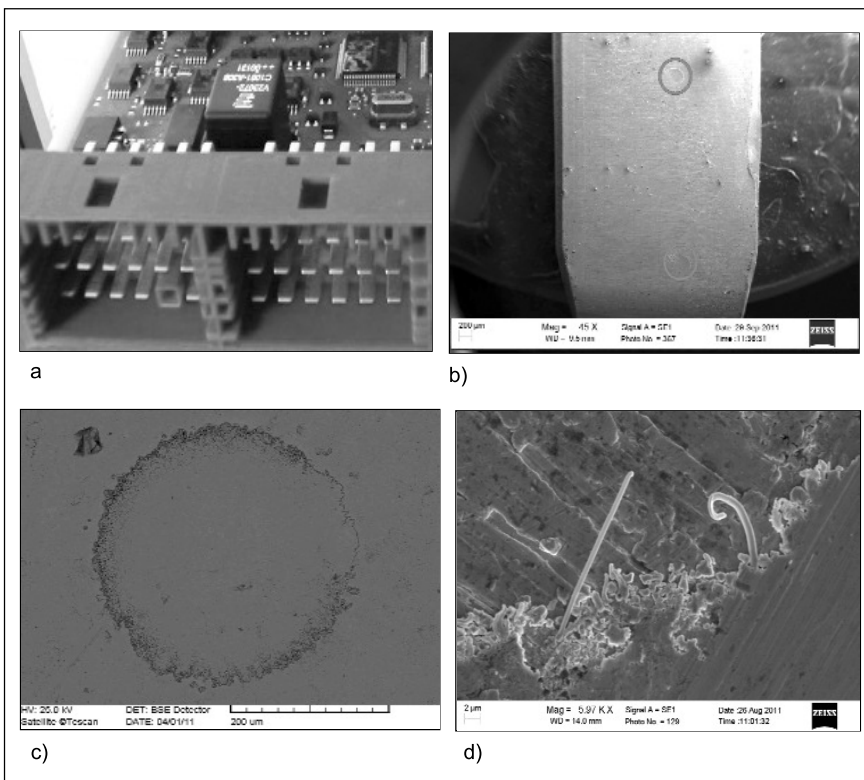
A vizsgált felület egy motorvezérlő berendezés csatlakozó felülete volt (2 a, b ábra). A réz hordozó felületen az ónréteg vastagsága körülbelül 2 mikrométer. Külön kísérletsorozatban megvizsgáltunk egy másik mintát is, ame-

lyen az ónréteg vastagsága 4 μ m volt. A csatlakozó felületek egy berendezésről származnak, így az anyagszerkezeti tulajdonságok közel állandóak, azonban kis különbségek is befolyásolhatják a túkristály képződését.

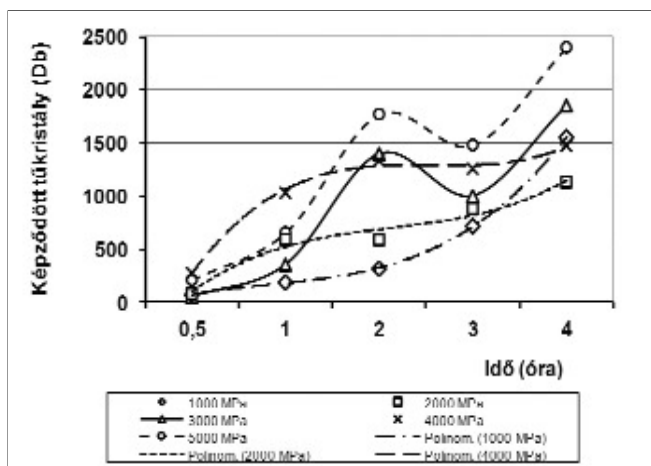
A kísérlet leírása

A kísérletünkben szereplő terhelő mechanikai feszültségeket a korábbi tapasztalatokból határoztuk meg, értékei: 1000 MPa, 2000 MPa, 3000 MPa, 4000 MPa, 5000 MPa. Ebben a kísérletben célunk volt meghatározni azt, hogy a terhelés első néhány órájában milyen intenzíven képződnek és növekednek a túkristályok, ezért a következő terhelési időket alkalmaztuk: 0,5 óra, 1 óra, 2 óra, 3 óra, 4 óra.

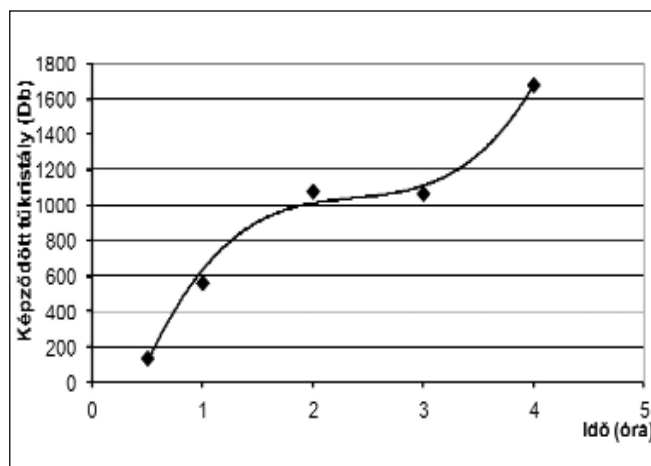
A fenti paramétereket felhasználva 25 darab lenyomatot hoztunk létre, melyekről SEM-felvételek készültek (2 c. ábra). A lenyomatok szabályos kör alakúak és az esetek döntő többségében túkristály az alakváltozott felület határain képződik (2 d. ábra). Részletesebb felvételeket 3000–6000-szeres nagyítással is kellett készíteni, hogy a túkristály csirákat és hosszúságokat pontosan meg lehessen határozni. A hosszúságértékeket egy lenyomaton úgy számítottuk ki, hogy kiválasztottuk az öt leghosszabb túkristályt és annak vettük az átlagát. A külön kísérletben a vizsgált darabot 150 Celsius fokon 1 óráig keresztül hőkezeltük normál atmoszférában azzal a céllal, hogy vastagabb és tömörebb legyen az ón-oxidréteg a felületen. Ez a várakozásaink



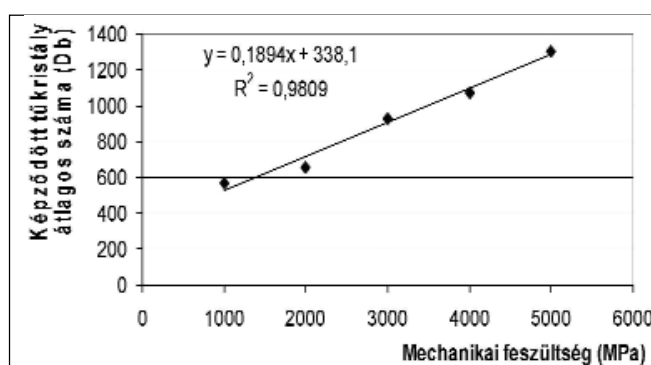
■ **2. ábra.** A motorvezérlő berendezés fényképe (a), és a csatlakozók felülete lenyomatokkal (b), felvétel a teljes lenyomatról (c), valamint a lenyomat egy részletéről (d)



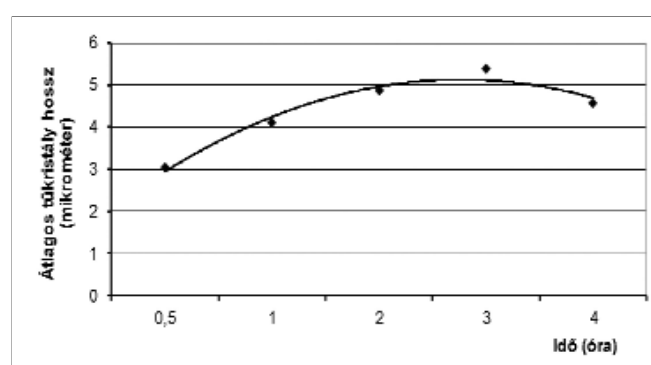
■ 3. ábra. Képződött tűkristályok száma egy lenyomaton az idő függvényében



■ 4. ábra. Képződött tűkristályok átlagos darabszáma az idő függvényében



■ 5. ábra. Képződött tűkristályok átlagos darabszáma a mechanikai feszültség függvényében



■ 6. ábra. Átlagos tűkristály hosszúságok az idő függvényében

szerint gátolja a tűkristály képződését, amint az a szakirodalomban is olvasható [10,11].

Következő kísérletünkben az ónréteg vastagságának hatását vizsgáltuk meg az ón tűkristály képződésére és növekedésére. A fő kísérletben is használt csatlakozófelületen az ónréteg vastagsága 2 µm, míg a másik csatlakozófelületünkön 4 mikrométer. A terhelési idő öt nap volt, míg a terhelő mechanikai feszültség 3000 MPa.

Eredmények

Tűkristály képződés kísérleti eredményei az idő függvényében mechanikai feszültség hatására

Megállapításunk szerint mind a mechanikai feszültség emelése, mind a terhelési idő növelése több tűkristályt eredményez a terhelés első négy órájában. A képződött tűkristály darabszámokat kétféle módon is ábrázoltuk, a terhelési idő valamint a terhelő

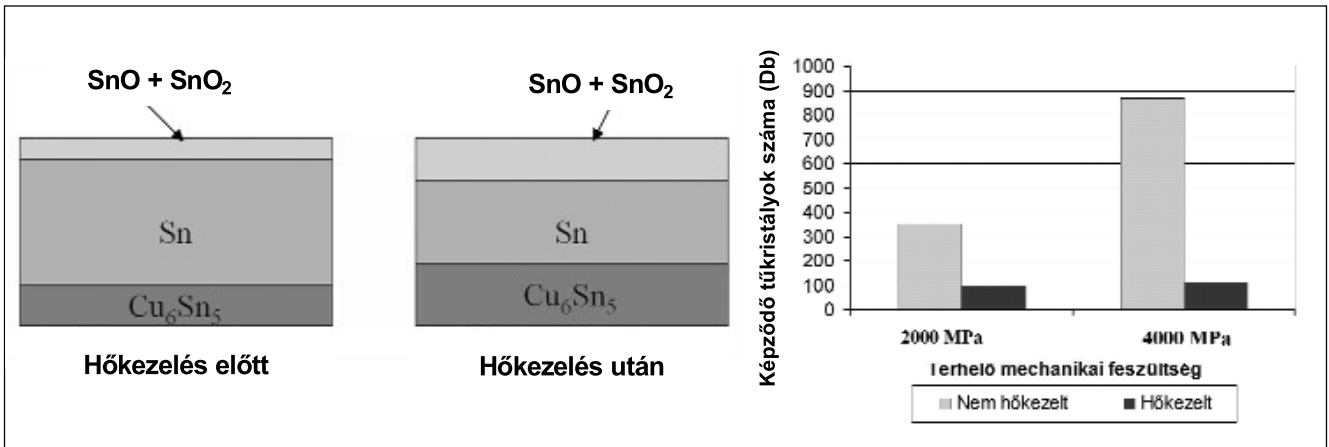
mechanikai feszültség függvényében. A 3. ábrán a terhelési idő hatása látható. Megfigyelhető egy tendencia, ami szerint minél tovább tartott a mechanikai terhelés, annál több tűkristály képződött. Ez alól a 2 órás értékek a kivételek, azon belül pedig a 3000 MPa-os és az 5000 MPa-os. A növekvő tendencia igazolásához átlagoltuk a mérési eredményeket. A 4. ábrán ábrázoltuk egy diagramon az egy terhelési időhöz tartozó tűkristály átlagolt darabszámokat. (Az 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 MPa terhelés esetén észlelt darabszámokat átlagoltuk és a kapott átlag értékeket ábrázoltuk az idő függvényében.)

Ebben az esetben is látható egy növekedési tendencia. A legdinamikusabb tűkristály képződés a 0,5–1 órás terhelési idők között tapasztalható, 1 óra alatt háromszor annyi, 4 óra alatt pedig nyolcszor annyi tűkristály képződik, mint fél óra alatt. Szerettük volna a mechanikai feszültség hatását is megvizsgálni, ezért az egy feszültségponthoz tartozó tűkristály

darabszámokat (0,5 órás, 1 órás, 2 órás, 3 órás, 4 órás terhelési idő) átlagoltuk, és az így megkapott értékeket ábrázoltuk a mechanikai feszültség függvényében (5. ábra). Ebből megállapítottuk, hogy közel lineáris a növekedés értéke, és 5000 MPa esetén több mint kétszer annyi tűkristály képződik, mint 1000 MPa esetén (5000 MPa terhelés esetén átlagosan 1300 tűkristály képződött). Az $y = Ax + B$ függvény egyenletében az „A” koefficiens 0,2 körül van. Ez azt jelenti, hogy a mechanikai feszültség 5 MPa-os növekedése esetén eggyel több tűkristály képződés várható.

Következő fontos paraméter a tűkristály hossza. A 6. ábrán lehet látni az átlagos tűkristály hosszúságot az idő függvényében. Egy pontot a diagramon úgy számítottunk ki, hogy az 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 MPa-hoz tartozó tűkristály hosszúságokat átlagoltuk.

Itt dominánsnak mutatkozik a növekvő tendencia az idő függvényében, azonban 4 órás terhelés esetén



■ 7. ábra. Hőkezelés hatása az anyagszerkezetre (a), és a képződő tűkristályok darabszámra (b)

már rövidebb tűkristályok képződnek. Általánosságban megállapítható az, hogy minél nagyobb volt a terhelési idő, annál hosszabb volt a képződött tűkristályok átlagos hosszúsága. A fél órás terhelési idő esetében a hosszúság 3 mikrométer, míg 2 órás esetén 5 mikrométer. Ennél nagyobb terhelési idő esetén pedig már nem növekszik lényegesen. Méréseink során a leghosszabb tűkristály 24 mikrométeres volt.

Hőkezelés hatása az ón tűkristály képződésre

A kísérlet során a vizsgált darabot 150 Celsius fokon 1 órán keresztül hőkezeltük normál atmoszférában, tehát az ón-oxid réteg feltehetőleg vastagabb lett, mint a nem hőkezelt esetben.

Hőkezelés hatására három jelenség figyelhető meg (7 a ábra):

- Normál atmoszférában történt a hőkezelés. Ezért az oxidréteg megvastagodik. Ez nehezíti az ón tűkristály képződést;

- Magasabb hőmérsékleten felgyorsul a diffúzió, ezért a Cu₆Sn₅ réteg megvastagodása valószínű;
- Az előbbi két esemény miatt az ónréteg elvékonyodik, így egyrészt kevesebb ón marad az ón tűkristály képzéséhez, másrészt pedig vastagabb lesz az oxidréteg. A szakirodalom szerint minél vastagabb az oxidréteg, annál kevesebb tűkristály képződik [10–12].
- Emelt hőmérsékleten az ón újrakristályosodik, ezért megváltozhat a szemcseszerkezet [13].

A fent említett jelenségek előre láthatólag csökkentik a tűkristály képződést. A hőkezeltetlen valamint a hőkezelt darabokat összehasonlítva ez a kísérletek során is igazolódott, ugyanis a hőkezelés hatására átlagosan 1/6-od részére lecsökkent a képződött tűkristályok darabszáma (7 b ábra). 2000 MPa terhelő mechanikai feszültség esetén több mint háromszoros csökkenés tapasztalható, míg 4000 MPa esetén már körülbelül nyolcszoros.

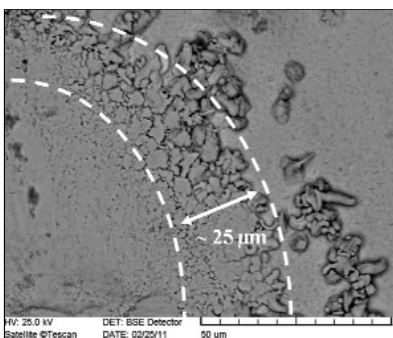
Ónrétegvastagság hatása a tűkristály képződésére

Szakirodalmi adatok szerint, ha megnöveljük az ónréteg vastagságát a felületen, akkor kevesebb tűkristály képződik [8]. Ennek az állításnak a megvizsgálása végett elvégeztünk egy mérést vastagabb ónréteggű csatlakozón is.

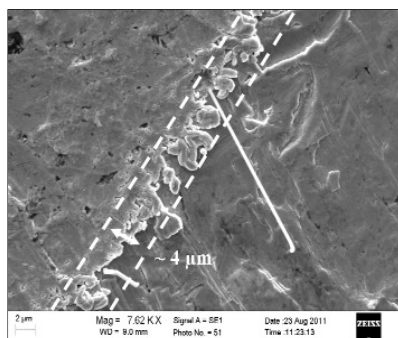
Az előző kísérletekben 2 mikrométer ónrétegvastagságú mintadarabokat használtunk, ehhez a kísérlethez pedig 4 mikron rétegvastagságút. Az eredményeket összehasonlítottuk.

Az ónréteg vastagságának növekedésével a következő lehetséges hatásokat kell figyelembe venni:

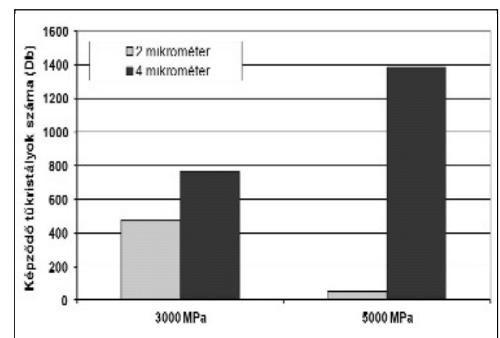
- Vastagabb rétegen a terhelő mechanikai feszültség jobban eloszlik, így kevésbé fejti ki a hatását;
- A rideg Cu₆Sn₅ réteg kevésbé tudja erősíteni a mechanikai feszültség hatását;
- Több ón áll rendelkezésre a tűkristály képződéséhez (kétszeres rétegvastagság, tehát kétszeres mennyiségű az ón).



a



b)



c)

■ 8. ábra. Ón tűkristályok a felületen 4 mikrométeres (a), és 2 mikrométeres (b), ónrétegvastagság esetén, illetőleg a képződő tűkristályok darabszáma (c)

A 8. ábrán jól látható az, hogy a 4 mikrométeres ön-rétegvastagságú mintánkon körülbelül hatszor szélesebb sávban képződnek a túkristályok. A kétszeres rétegvastagság esetén is jelentős mértékű a túkristály képződés a szakirodalmi adatok ellenére (3000 MPa mechanikai feszültség esetén 50%-kal több túkristály képződött 4 mikrométeres ön-rétegvastagság esetén, 5000 MPa terhelésnél pedig már több mint tízszeres a különbség).

A túkristályok átlagos hosszúsága a rétegvastagság növekedésével kisebb mértékben csökken, mint ahogy a darabszám nő (3000 MPa mechanikai feszültség esetén az átlagos hosszúság a 2/3 részére, 5000 MPa esetén pedig a 3/4 részére csökken). Megállapítható, hogy önmagában a rétegvastagság növelése nem elégséges a túkristályok kiküszöböléséhez, de a meghibásodás veszélyét csökkenti (ugyanis csökken a túkristályok átlagos hosszúsága).

Összefoglalás

Elvégeztünk egy kísérletsorozatot, amellyel az volt a célunk, hogy a mechanikai feszültség hatására keletkező ön túkristályok képződését és növekedését megvizsgáljuk. Cikkünkben figyelembe vettük az anyagszerkezeti tényezők hatását is. A kísérletek eredményeként a megállapításaink a következők:

1. Az ön túkristály képződés folyamatát sok tényező befolyásolja, amelyek közül a mechanikai feszültség hatását illetve a csatlakozó felületen lévő ónréteg vastagságának hatását vizsgáltuk, figyelembe véve az oxidációs folyamatokat is.

2. Kidolgoztunk egy mérési módszert, amelynek segítségével reprodukálható módon hoztunk létre lenyomatokat. Ezek segítségével ki tudtuk értékelni a túkristály képződés és növekedés folyamatát.
3. Tapasztalataink szerint mind a mechanikai feszültség emelése, mind a terhelési idő növelése több túkristályt eredményez a terhelés első négy órájában.
4. A terhelő mechanikai feszültség növekedésével megnőtt a képződött túkristályok darabszáma. Például 5000 MPa terhelés esetén átlagosan 1300 túkristály képződött, 1000 MPa esetén pedig 570.
5. A túkristály hosszúság mérésének eredményei azt mutatják, hogy domináns a növekedés a terhelés első három órájában. Fél óra alatt átlagosan 3 mikrométeres túkristályok képződnek, 3 óra alatt pedig 5,5 mikrométer hosszúságúak.
6. Az ónréteg vastagságát 2-ről 4 mikrométerre emelve átlagosan négyszer több túkristály képződött, hőkezelés után pedig hatszor kevesebb (a vastagabb oxidréteg hatására).

Köszönetnyilvánítás

A kutatási munka „A felsőoktatás minőségének javítása kiválósági központok fejlesztésére alapozva a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területein” TÁMOP-4.2.1.B-10/2KONV 2010-0001 projekt keretein belül készült. A szerzők köszönetet mondanak *dr. Rónaföldi Arnoldnak* a kísérleti berendezés megtervezéséért és megépítéséért, valamint *Kovács Árpádnak* a SEM-felvételek elkészítéséért.

Irodalom

1. *M. Abtew, G. Selvaduray*: Materials Science and Engineering 27 (2000) pp. 95–141.
2. *K. – S. Kim, Ch. – H. Yu, J. – M. Yang*: Thin Solid Films 504 (2006) pp. 350–354.
3. *K. – S. Kim, Ch. – H. Yu, J. – M. Yang*: Microelectronics Reliability 46 (2006) pp. 1080–1086.
4. *Y. Nakadaira, S. Jeong, J. Shim, J. Seo, S. Min, T. Cho, S. Kang, S. Oh*: Microelectronics Reliability 48 (2008) pp. 83–104.
5. *T. Shibusaki, J. Wuc, Q. Yu, M. Pecht*: Microelectronics Reliability 48 (2008) pp. 1613–1627.
6. *B. D. Dunn*: Circuit World 2 (1976) pp. 32–40.
7. *G. T. Galyon*: A History of Tin Whisker Theory: 1946 to 2004, IBM eSG Group, SMTAI International Conference, September 26-30, 2004 (Chicago, IL) pp.1–11.
8. *B. – Z. Lee, D. N. Lee*: Acta Materialia 46 (1998) pp. 3701–3714.
9. *Y.-j. Chen, C.-m. Chen*: J. Electronic Materials 38 (2009) pp. 415–419.
10. *T.-h. Chuang*: Metallurgical And Materials Transactions A 38A (2007) pp. 1048–1055.
11. *Sungil Cho, Jin Yu, Sung K. Kang, Da-Yuan Shih*: Journal of Electronic Materials 34 (2005) pp. 635–642.
12. *R. K. Hart*, Proceedings of the Physical Society. Section B 65 (1952) P 12.
13. *S.-j. Shin, J.-j. Kim, Y.K. Son, J. Mechanical Science And Technology 23 (2009) pp. 2885–2890.*

Az OMBKE Fémkohászati Szakosztálya és Egyetemi Osztálya

2012. november 16-án a Miskolci Egyetemen rendezi meg a

XIII. Fémkohász Szakmai Napot

Előzetes program:

14:00–17:00 Szakmai előadások
17:30 Kamarahangverseny
18:00 Szakestély

A részletes programot a szervezőbizottság az érdeklődőknek megküldi.