



AZ ÓN WHISKEREK NÖVEKEDÉSÉNEK VIZSGÁLATA ELEKTRONIKAI ALKALMAZÁSOKBAN

PHD TÉZISFÜZET

Horváth Barbara

Tanszékvezető: Dr. Harsányi Gábor egyetemi tanár

Doktorandusz témavezető: Dr. Harsányi Gábor egyetemi tanár

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Elektronikai Technológia Tanszék

2012

A kutatások előzménye és célkitűzései

Az elektronikus részegységek gyártása során az elektronikai alkatrészeket részben forrasztással rögzítik a nyomtatott huzalozású lemezhez. A jó forrasztathóság elérése érdekében fontos, hogy a beforrasztandó (általában réz alapanyagból készülő) alkatrész kivezetés vékony fém védőbevonattal legyen ellátva. Sok éven keresztül ez a bevonat és a forrasztóanyag is ón-ólom ötvözetből készült annak alacsony olvadáspontja és hagyományosan széleskörű elterjedtsége miatt.

Az elmúlt években az Európai Unió irányelvet fogadott el (RoHS - Restriction of Hazardous Substances [1]) az egyes veszélyes anyagok korlátozásáról elektromos és elektronikus berendezésekben. Az ólom használatára vonatkozó korlátozások a legtöbb elektronikai alkatrészgyártó céget arra kényszerítették, hogy a hagyományosan használt ón-ólom bevonatokat ólommentesre cseréljék. Ezen bevonatok közül a legnépszerűbb a galván ón bevonat a forrasztás alatti jó nedvesíthetősége, korrózióállósága, jó minőségű forraszkötései, olcsósága és egyszerű tárolhatósága miatt. A technológiai váltás után azonban ismét előtérbe került egy korábbról ismert, de később feledésbe merült hibajelenség: az ún. ón „whiskerek” (óntűk) megjelenése. Azokon az ón rétegeken, melyek több mint 3% ólmot tartalmaznak, nem alakulnak ki whiskerek, emiatt az iparban 50 évig nem jelentkezett ez a probléma [2,3]. De az ólom kiiktatásával megbízhatósági problémává vált az ón whiskerek megjelenése, noha ez nem volt teljesen ismeretlen korábban sem. Az ón whiskerek definíció szerint vezető egykristály szálak, jellemző átmérőjük 0,5-10 μm , hosszuk pedig akár a mm-es nagyságrendbe is eshet [4-7]. Spontán módon nőnek ki a bevonat felszínéből, és idővel rövidzárat okozhatnak az elektronikus egységben, ami akár az áramkör ideiglenes vagy állandó meghibásodásához vezethet. A jelenség kialakulásának folyamata még nem teljesen tisztázott, de az általános teória szerint az ónrétegben, a szemcsék között kialakuló nyomófeszültség gradiensek az okozói, amelyek többféle anyagátalakulási folyamat miatt jönnek létre (pl. galvanizálás okozta belső feszültségek, anyagok diffúziója, intermetallikusok ill. oxidok kialakulása, hőmérsékletváltozás okozta illetve külső terhelés alatt létrejövő mechanikai feszültségek). Ezen feszültségek „relaxálására” alakulnak ki az ón whiskerek [8, 9].

Annak az esélye, hogy a kialakult whisker rövidzárat okozzon, egyre növekszik az elektronikai áramkörök miniatürizálásával. A whiskerek rögtön galvanizálás után, de akár évekkel később a tároláskor is megjelenhetnek. Az elektronikai egységek számos típusán felfedezhetők: alkatrészek kivezetésein, a nyomtatott huzalozási lemezek bevonatain, csatlakozókon, vagy akár az alkatrészek fém tokozásain.

A szakirodalom áttekintése alapján megállapítottam, hogy bár a whiskerek megjelenéséről már 50 éve tudnak, komolyabb kutatások csak a 2000-es évektől kezdődtek - közvetlenül az ólommentes bevonatokra történő átállás előtt. Emiatt a whiskerek növekedési mechanizmusa jelenleg még egy nem teljesen megértett folyamat. A témában fellelhető szakirodalmi források tanulmányozása után konklúzióimat a következő pontokban foglalom össze:

- Jelenleg a szakirodalom szerint ugyan sokféle különböző gyorsított élettartam vizsgálati módszerrel vizsgálják a különböző bevonatok „whiskerképződési” tulajdonságait, a whiskerek növekedését ellentmondásosan befolyásoló tényezők sokfélesége miatt a többféle tesztelési módszernek a növekedési folyamatokat gyorsító hatása még kivizsgálásra vár.
- Bár a kutatók keresik a megoldást a whiskerek kialakulásának megakadályozására, a jelenleg rendelkezésre álló „whiskercsökkenési” módszerek csak részben hatásosak. Továbbá, az irodalomban csak néhány tanulmány található, amely a különböző szemcseszerkezetű ón rétegek „whiskeresedési” tulajdonságait vizsgálja. Nem kísérleteztek a szemcseszerkezet (szemcsék méretének illetve formájának) utólagos módosításával és ennek a „whiskernövekedésre” gyakorolt hatásaival.
- A whiskerek növekedésének megindulását elősegítő Cu_6Sn_5 intermetallikus réteg kialakulásának gátlása érdekében bizonyos esetekben a réz és az ón réteg közé ezüst vagy nikkel átmeneti réteget választanak le. Ezen kialakítások közül az ón-nikkel és ón-ezüst esetében a két réteg közötti intermetallikus réteggel illetve a kialakulásához szükséges interdiffúzióval kapcsolatban hiányos a szakirodalom, a jelenlegi modellek nincsenek alátámasztva kísérleti eredményekkel vagy számítással. Nem vizsgálták még meg kellő alaposággal az ezüst köztesrétegeknek a whiskerképződés enyhítésére gyakorolt hatását.
- A tiszta ón különböző fémekkel való ötvözése esetén a réteg „whiskernövekedési” hajlandósága megváltozik, bizonyos anyagok (pl. ólom, réz) megváltoztatják a whiskerek mennyiségét a bevonaton. Jelenleg csak korlátozott számú eredmény található a réz hatásairól a whiskerek növekedésére olyan ón-réz ötvözetből készült bevonatokon, melyekben a vizsgált ötvözetek csupán kisebb százalékban tartalmaznak rézet (3,7%-ig) - főként galvanizált bevonatokon. A réz ötvözetű bevonatokat nem vizsgálták magas páratartalmú körülmények között, ezért az oxidáció és a korrózió hatásai az ötvözetekre nem ismertek.
- Az ón oxidáció folyamata, valamint a növekedést befolyásoló paraméterek még nem tisztázottak. Továbbá nem egyértelmű az ón korróziójának szerepe az ónrétegen

végbemenő whiskerképződésre sem. Az összes megfigyelés a nedvességgel, a korrózióval és az ón-oxidok kialakulásával áll kapcsolatban az ón rétegre való hatásuk szempontjából, de nincsenek észrevételek a már kialakult whiskerekre gyakorolt hatásukról.

Következésképpen az ón felületen létrejött whiskerek kialakulásával kapcsolatban rengeteg a még tisztázatlan terület. Mivel ezen hibajelenség kiküszöböléséhez a jelenség fizikai-kémiai hátterének az eddiginél mélyebb megértése szükséges, napjainkban különösen aktuálissá vált a whiskerek kialakulásának vizsgálata. A fentiek tükrében jelen értekezésem fő témáinak a következőket választottam:

- Az ezüst és nikkellal ellátott ónbevonatok „whiskerállóságának” vizsgálata gyorsított élettartam vizsgálatokkal.
- Az ón-ezüst és az ón-nikkellal ellátott rétegek közötti intermetallikus réteg vizsgálata, valamint ezen réteg a növekedésének hatása a whiskerképződésre.
- Az ón-oxid növekedés illetve az ón korrózió hatásának vizsgálata a whiskerek kialakulására.
- Az újrakristályosítás általi szemcseszerkezet-változás hatásának szerepe a whiskerek kialakulásának folyamatára.
- A réz ötvözési arány növelésének hatása az ón-réz ötvözetekben és szerepe a whiskerek kialakulásában magas páratartalmú körülmények között.

A kutatás módszerei

Normális esetben az ón whiskerek kialakulási ideje években mérhető. Az elkészített mintákat különböző gyorsított élettartam vizsgálatokkal öregbítettem annak érdekében, hogy gyorsabban kialakuljanak a whiskerek. Számos szabványos gyorsított élettartam vizsgálati módszer terjedt el, melyek arra használatosak, hogy az elektronikai alkatrészek élettartamának során bekövetkező paraméterváltozásokat, meghibásodásokat és egyéb jelenségeket a valóságos körülményekhez képest rövidebb időtartamon belül észlelni, vizsgálni lehessen. Ilyenek például a HAST (Highly Accelerated Stress Test), HTSL (High Temperature Storage Life), valamint a TC (Thermal Cycle). A vizsgálatok során a mintákat klímakamrában a szobahőmérsékletnél magasabb hőmérséklet és/vagy magas relatív páratartalom együttes igénybevételének vetik alá vagy hirtelen hőmérsékletváltozásnak

teszik ki. Ez egy általánosan elterjedt eljárás az elektronikában olyan "öregedési" folyamatok vizsgálatánál, melyeket a fenti tényezők együttesen vagy külön-külön befolyásolhatnak.

A szakirodalom szerint a hőmérséklet emelkedésével gyorsulnak az anyagban lezajló diffúziós folyamatok, hasonlóan az intermetallikus ötvözet képződésének sebessége, gyorsulnak az oxidáció-korróziós folyamatok, és így nő a whiskerek kialakulásához szükséges nyomófeszültség [10]. A magasabb hőmérséklet viszont kedvezően hat a mechanikai feszültségek relaxációs folyamataira is. A páratartalom növelése gyorsítja az oxidációs-korróziós folyamatokat. Az elvégzett gyorsított élettartam vizsgálatok hőmérsékleti és páratartalmi beállításainak többségét a JEDEC whisker vizsgálati szabványának [4] megfelelően választottam ki. Az ettől eltérő esetekben más speciális tulajdonságokat vizsgáltam (pl. az ón-oxid növekedési vizsgálatok esetén), melyre ezen szabvány javasolt paraméter értékei nem alkalmasak.

A kialakult felületi struktúrák vizsgálatára különböző felületanalitikai módszerek alkalmazása szükséges. A minták felszínét és a whiskerek formáját illetve méretét elsősorban pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM) vizsgáltam. Kezdetben kisebb nagyítást alkalmaztam (150x–300x), hogy a teljes felületen megfigyelhessem a whiskereket és beazonosítsam a leghosszabbat. Ezután a whiskereket tovább vizsgáltam nagyobb nagyításban (akár 10.000x). Bizonyos esetekben, annak érdekében, hogy a whiskerek pontos hosszát beazonosíthassam, a mintát el kellett forgatni illetve dönteni. A rétegek keresztmetszeti feltárására FIB (Focused Ion Beam) eljárást alkalmaztam, ahol fókuszált ion sugárral maratást végzünk a mintán. Ezzel a keresztmetszeti terület akár 20 µm mélységig megfigyelhető a minta 45-60°-os döntésével. A FIB-SIM (Scanning Ion Microscope) segítségével megfigyelhetők a kristályorientáció különbségek is, így a képeken a kontrasztábrázolás jobb a SEM képekhez képest. Ez a keresztmetszeti struktúráról ad bővebb információt, például ily módon vizsgálható a rétegek szemcseszerkezete is. A rétegek anyagösszetétele illetve elemtérképe is meghatározható az EDS (Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy) módszer segítségével. Az EDS egy meghatározott területen lévő anyag elemi összetételének meghatározására alkalmas módszer, amely akár tömeg- vagy atomarányban is kifejezhető. Az SEM-EDS segítségével az anyagok kémiai összetételét körülbelül 1 µm-es foltméretig lehet meghatározni, valamint elemtérképet hozhatunk létre egy sokkal szélesebb területen. De a FIB-bel történő maratás után a keresztmetszeti területen ez a foltméret túl nagy az elemek meghatározására. Ebben az esetben transzmissziós elektronmikroszkóppal (TEM) vizsgáltam a mintát. A TEM-EDS alkalmazásával a foltméret akár 5 nm-re is leredukálható, ami által pontos elemzést lehet végezni. Ezen méréshez elektronok által átvilágítható TEM-mintákat kell kialakítani, ami azt jelenti, hogy a minta vastagsága 100 nm vagy kevesebb. Ha a mintán egy konkrét területet kell megvizsgálni TEM-mel (pl. egy whisker tövét), FIB segítségével kell kimaradni vékony membránná a speciális érdeklődési területet.

Új tudományos eredmények

I. téziscsoport: Köztes réteggel ellátott ón-réz szerkezetek „whiskerállósági” tulajdonságainak meghatározása magas páratartalmú környezetben

I.1. tézis: **Bebizonyítottam, hogy az ezüst köztesréteggel ellátott ón rétegek eleinte jobban ellenállnak a whiskerek kialakulásának, mint a nikkel köztesréteggel ellátottak egészen addig, amíg az ón lediffundál az ezüstrétegbe és érintkezik a rézzel, majd Cu_6Sn_5 intermetallikust képez vele, mely további feszültséget generál az ón rétegben. Kísérletileg igazoltam, hogy a Ni_3Sn_4 intermetallikus réteg az ón réteg felé növekszik a nikkel réteg helyett, amely feszültséget generál az ón rétegben.**

A tapasztalataim szerint a 40 °C/ 95% RH (relatív páratartalom) környezeti körülmények mellett tárolt nikkel köztes réteggel rendelkező struktúrákon az első whiskerek viszonylag „korán” (2200 óra alatt) jelentek meg, és idővel folyamatosan növekedtek. Ennek magyarázata az, hogy az Ni_3Sn_4 intermetallikus réteg az ón irányába növekedik a nikkel réteg helyett, ami a kezdetektől fogva feszültséget kelt az ón rétegben, ami az eddigi szakirodalmi állításokkal [10] ellentétes tapasztalat. Az általam elvégzett kísérletek alapján az ezüst és nikkel köztesréteg és az ónréteg közötti intermetallikus rétegnövekedést vizsgálva megállapítottam, hogy az ezüst réteggel gyorsabban reakcióba lép az alatta és felette található réz illetve ón réteg ugyanannyi ideig történő tárolás esetén a nikkelhez képest. 4200 óráig történő öregbítés esetén megállapítottam, hogy míg a nikkel réteg teljesen ép maradt, addig az ezüst réteg vastagsága közel harmadára csökkent, néhol a réz átdiffundált a rétegen, és az ónba érve gyors ütemben Cu_6Sn_5 intermetallikus réteget alkotott. Ez az oka annak, hogy 4200 óra után az ezüst köztesréteggel rendelkező minták rohamosan romlottak whiskeresedési szempontból a nikkeleshez képest.

105 °C/ 100% RH -ben tárolás esetén az ezüst köztes réteggel rendelkező mintákon hosszabb whiskerek alakultak ki a nikkeleshez képest. Ennek oka a következő: az a momentum, amikor a réz átjutott az ezüst köztesrétegen, és az ónban intermetallikust alkotott, magas hőmérsékleten (105 °C) sokkal hamarabb bekövetkezett, mint az alacsonyabb hőmérsékleten (40 °C) mivel a diffúzió sebessége nagymértékben függ a hőmérséklettől. Hasonlóképpen az Ni_3Sn_4 intermetallikus az ón réteg irányába növekedett feszültséget okozva az ón rétegben. Ugyanakkor az Ni_3Sn_4 intermetallikus réteg növekedésének üteme jóval lassabb a Cu_6Sn_5 növekedési üteméhez képest (például abban az esetben, ha a réz áthatolt az ezüst rétegen), és a folyamatosan kialakuló feszültség okozta anyagtranszportot meggátolja a gyors oxidáció a magas hőmérséklet és magas páratartalmú körülmények között (I.2. tézis). A hosszabb whiskerek nagyobb valószínűséggel okoznak rövidzárat elektronikai alkalmazásokban, így a gyakorlatban megbízhatósági szempontból a whiskerek hossza fontosabb, mint a sűrűsége. Ezért az ezüst köztes réteggel rendelkező bevonatok

veszélyeztetettebbek lehetnek a whiskerek által létrehozott zárlatra, mint a nikkel köztes réteggel rendelkező bevonatok.

I.2. tézis: Bebizonyítottam, hogy az ón felület fokozott oxidációja esetén a whiskerek hosszirányú növekedése helyett a whiskerek sűrűsége növekszik.

Kísérletileg azt találtam, hogy a mintákon található ón bevonat 105°C/100%RH-ban történő öregbítés után nem követi az irodalomban megismert whiskerképződési folyamatot [4], a kialakult vastag oxid-réteg miatt újfajta whiskernövekedési mechanizmus alakul ki. Az ebben a környezetben kialakuló nagymértékű oxidáció megakadályozza a kialakuló whisker növekedését. Miután egy whisker megjelent, a felszíne gyorsan oxidálódik, ami megállítja azt a növekedésben. A rétegben felgyülemplő folyamatos feszültség hatására, ahelyett hogy a whisker a folytonosan növekedne, a rétegen a whisker mellett egy repedésből újabb whisker nő ki, így a whiskerek sűrűsége nő a hosszuk helyett. Az így kialakult whiskerek gyakran nem követik az általánosan ismert whisker-formát: vastagabbak (>10 µm), és többnyire csomókban nőnek (melyek 30-40 µm nagyok). Ennek kapcsán felfedeztem és értelmeztem a „whisker-on-whisker” jelenségét. Abban az esetben, ha a whiskeren kialakuló oxidrétegen alakul ki egy repedés, és a whiskerbe a rétegben lévő feszültség hatására ón atomok diffundálnak, akkor a whiskerből egy újabb whisker tud kifejlődni (elágazik), amely addig nő, amíg a rajta megjelenő oxidréteg meg nem állítja a növekedésben.

A I. téziscsoporthoz kapcsolódó közlemények: L1, L2, R1, R2.

II. téziscsoport: Az ón szemcseszerkezetének szerepe a whiskernövekedésben

II. tézis: Bebizonyítottam, hogy az ón rétegben az újrakristályosítás miatt kialakult szemcsestruktúra átalakulás késleltető hatással van a whiskerek kialakulására.

Megvizsgáltam az újrakristályosítást (nyújtás 5%-al, majd hőkezelés 150 °C-on 1 órán át), mint újfajta whisker kialakulást csökkentő eljárást. Az így kezelt mintákat összehasonlítottam a „pusztán hőkezelt” mintákkal (ami az irodalom által elismert whiskerkialakulást csökkentő eljárás), valamint a kezeletlen referencia mintákkal. Megvizsgáltam ezen minták whisker növekedési tulajdonságait a következő gyorsított megbízhatósági vizsgálatokkal: 105°C/környezeti RH, 50°C/környezeti RH és hősokk. Megállapítottam, hogy az élettartam vizsgálatok során a hőkezelt mintákon illetve leginkább az újrakristályosított mintákon késleltetve alakulnak ki a whiskerek a referencia mintákhoz képest, amely előny idővel elenyészővé válik az időközbeni intermetallikus rétegvastagság növekedés és a rétegben újból felgyülemplő feszültségek miatt. Ennek oka a következő: a hőkezelés esetén a szemcsestruktúra nem alakul át, viszont a galvanizálás okozta kezdeti feszültségek

relaxálódnak, így az idővel felépülő intermetallikus réteg okozta feszültség később alakul ki. Az újrakristályosított minták esetén viszont egy újfajta szemcsestruktúra alakul ki, az eredeti hosszú vertikális szemcse helyett egy kevert, fél-vertikális és horizontális szemcsestruktúra alakul ki, ami jobban ellenáll a whiskerek kialakulásának. Kísérletileg igazoltam és elméletileg magyaráztam azt, hogy egy „whiskercsomó” illetve egy whisker tövét képező „hillock” alatt az ón rétegben az intermetallikus réteg felett üregesedés alakul ki fényes ón (szemcseméret ≤ 500 nm) réteg esetén. Ennek oka az, hogy a szemcsékből belediffundál az ón a hillockba illetve whisker-csomóba, és a nagymennyiségű anyagtranszport miatt a vertikális szemcse alján üreg keletkezik.

A II. téziscsoporthoz kapcsolódó közlemények: L3, R3.

III. téziscsoport: Rézzel ötvözött ón bevonatok whiskeresedési tulajdonságainak vizsgálata különböző páratartalmú környezetekben

III.1. tézis: Megállapítottam, hogy az ón-réz ötvözetek esetében a whiskernövekedés két fő befolyásoló tényezője az oxidáció mértéke és az ötvözetek réztartalma. A 85 °C/ 85% RH környezeti körülmények mellett a magasabb réztartalmú bevonatok esetén a whiskerek sűrűsége nagyobb, viszont az első whiskerek később jelennek meg.

Megvizsgáltam a whiskerek növekedésének mértékét két magas hőmérséklet/páratartalom beállítás mellett (85 °C / 85% relatív páratartalom és 105 °C / 100%-os relatív páratartalom) a tiszta ón és ón-réz ötvözetű bevonatokon. A 85 °C / 85% RH környezetben oxidáció sebessége sokkal lassabb, mint 105 °C / 100%-os relatív páratartalom mellett a magasabb hőmérséklet és páratartalom miatt. Továbbá az ón diffúzió sebessége a whisker szemcsébe kisebb a 85 °C/85% RH teszt esetében, mivel ez nagyban függ a hőmérséklettől. Emiatt az ötvözetek viselkedése whiskernövekedés szempontjából egészen más volt a különböző tesztek során. A magasabb réztartalmú ötvözetek esetén magasabb volt a whiskerek átlagos sűrűsége és hossza mindkét teszt esetében. A 85 °C / 85% RH teszt esetében a magas páratartalom ellenére nem jelent meg intenzív korrózió a bevonat felszínén, ezért a whiskerek sűrűsége alacsony volt, de a megjelent whiskerek hosszabbak voltak. Ezen vizsgálat alatt bebizonyítottam, hogy az ötvözetek magasabb réztartalma nagyobb whiskersűrűséget okoz. Mivel a magasabb réztartalmú bevonatok korrozívabbak, a nyomófeszültség, mely az ón- és réz-oxid kialakulása miatt generálódik, gyorsítja a whisker növekedését annak megjelenése után. Minél nagyobb a réz tartalom egy ötvözetben, annál több a feszültség alakul ki az ötvözet korróziója miatt. Mivel az ötvözetek olvadáspontja a növekvő réztartalom esetén erősen emelkedik, az újrakristályosodás miatti szemcsenövekedés ezekben az ötvözetekben lassabb. Emiatt a whiskerek első megjelenésére

később kerül sor időben. De mivel a magasabb réztartalmú bevonatok korrozívabbak, a további nyomófeszültségek az ón- és réz-oxidok keletkezése miatt felgyorsítják a whiskerek növekedését azok megjelenése után.

III.2. tézis: Kísérletileg igazoltam és elméletileg megmagyaráztam extrém magas hőmérséklet és páratartalom esetén (105 °C / 100% RH) egy új jelenséget Sn-Cu ötvözetben: az úgynevezett réz-oxid whiskerek kialakulását.

Bebizonyítottam, hogy erősen oxidáló 105 °C/ 100% RH környezetben az ón-réz ötvözetű bevonatokon kialakuló réz-oxid whiskerek növekedésének a legfőbb hajtóereje a Cu_6Sn_5 intermetallikus réteg korróziója. Azt tapasztaltam, hogy a whiskerek növekedését befolyásoló két fő tényező a korrózió és az ötvözetek réztartalma volt. A tiszta ón bevonatok felszínén egy egyenletes SnO_x oxidréteg alakul ki, ellenben az ón-réz ötvözetből készült bevonatok esetén foltokban Cu_xO jelenik meg az SnO_x ($x=1$ v. 2) rétegen belül. A minták magas hőmérsékleten való tárolása nagy mennyiségű Cu_6Sn_5 intermetallikust generál a rétegek között. Az ón (és ón-réz ötvözet) réteg helyi korróziója folyamán a víz és oxigén könnyedén eljut a Cu_6Sn_5 intermetallikushoz. Az ón anódos a réz- és réz ötvözetekhez képest, valamint az ón réteg és rézhordozó között elhelyezkedő intermetallikus ötvözetekhez képest a legtöbb nedves környezetben, így a bevonat korróziója a réteg belseje felé irányul. Miután a korrózió folyamán kialakult SnO_x (és nyomokban Cu_xO) leülepszik, porózussá válik, ami további korróziót engedélyez. Emiatt a helyi korrózió területén a kicsapódott víz és a Cu_6Sn_5 találkozási pontja miatt az oxigén atomok belediffundálnak a Cu_6Sn_5 rétegbe és felbontják az intermetallikus anyagot, ami miatt Cu_2O dúsul fel. A Cu_6Sn_5 -ből kialakuló SnO_x térfogata tágul és a rétegben nyomófeszültség keletkezik, amely a hajtóerőt képezi a réz-oxid whisker számára. Az ón-réz ötvözetek esetében a felszíni oxid rétegben Cu_xO gyenge pontok találhatóak, amelyek a belső nyomófeszültség enyhítése miatt kifakadni törekvő réz-oxid whisker kitöréséhez szükségesek. Ha nem alakul ki Cu_xO a minták felületén korai szakaszban (például tiszta ón bevonatok esetében), az intermetallikus szétválasztódása továbbra is kialakul a korróziós foltok alatt, de az ón-oxid keménysége lehetetlenné teszi a réz-oxid kitörését a rétegből, és ezért nem alakul ki réz-oxid whisker.

A III. téziscsoporthoz kapcsolódó közlemények: L4, R4.

Az eredmények hasznosulása

Az értekezésben tárgyalt eredményeim főképp felfedező kutatásnak képezi részét, melyek fundamentalitása miatt a jövőbeni whisker-kutatások alapját képezhetik, és remélhetőleg iránymutatást adnak a jelenség mélyebb megértése felé. Jelenleg a whisker egy, az iparban még nagyon gyakran fellépő hibajelenség, ezáltal nagyban lerontva a termékek élettartamát.

Az **I. téziscsoportban** ismertetett vizsgálatokat a Robert BOSCH Kft autóelektronikai gyártó cég megrendelésére kezdtem. A mérés eredményeképp látható, hogy magas páratartalom esetén erőteljesebben alakulnak ki a whiskerek. Továbbá az is látható, hogy extrém magas korróziós körülményekben a whiskerek megállnak a növekedésben a kialakult ón-oxid gátló hatása miatt.

A **II. téziscsoport** eredményeit felhasználva az újrakristályosítási eljárással újfajta módon lehet késleltetni a whiskerek kialakulását, ezzel is megnövelve az elektronikai eszközök élettartalmát. Az itt található kísérleteket a japán National Institute for Materials Science (NIMS)-szel való együttműködés keretében végeztem el.

A **III. téziscsoportban** egy újfajta hibajelenséget fedeztem fel: a réz-oxid whiskert. A NIMS-szel történő együttműködés során a jelenség fizikai hátterére magyarázatot adtam és ezt kísérletekkel igazoltam. Továbbá megvizsgáltam az ón-réz ötvözetű bevonatok whiskeresedési tulajdonságait, ami egy fontos tényező ezen bevonatok megbízhatósági vizsgálataiban.

A teljes munka a " Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához kapcsolódik, amely az Új Magyarország Fejlesztési Terv támogat (Project ID: TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002). A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását a TÁMOP - 4.2.2.B-10/1--2010-0009 program támogatja.

A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

Lektorált folyóirat cikkek (angol nyelvű):

- L1. **B. Horváth**, B. Illés, G. Harsányi, T. Shinohara: "Effects of Humidity on Tin Whisker Growth – Investigated on Ni and Ag Underplated Layer Construction", Thin Solid Films 520, 2011, pp. 384–390
- L2. B. Illés, **B. Horváth**, G. Harsányi: "Effect of Strongly Oxidizing Environment on Whisker Growth form Tin Coating" Surface & Coatings Technology 205, 2010, pp. 2262–2266
- L3. **B Horváth**, B. Illés, T. Shinohara, G. Harsányi, "Whisker Growth on Annealed and Recrystallized Tin Platings", Thin Solid Films 520, 2012, pp. 5733–5740
- L4. **B. Horváth**, B. Illés, T. Shinohara, G. Harsányi: "Determining Whiskering Properties of Tin-Copper Alloy Solder-dipped Platings." Periodica Polytechnica – Electrical Engineering 54/3-4, 2010, pp. 107-110

Konferencia-kiadványban megjelent angol nyelvű előadások:

- R1. **B. Horváth**, T. Shinohara, B. Illés, G. Harsányi: "Tin Whisker Growth at High Humidity Environments – Investigated on Ni and Ag Underlayered Leadframes" Proceedings of 57th Materials and environment debate – Japan Society of Corrosion Engineering, Okinawa, Japan, 2010, pp. 304-307.
- R2. **B. Horváth**, B. Illés, G. Harsányi: „Investigation of Tin Whisker Growth: The Effects of Ni and Ag Underplates” Proceedings of 32nd ISSE conference, Brno, Czech Republic, 2009, pp. 1-5.
- R3. **B. Horváth**, B. Illés, T. Shinohara, G. Harsányi: “Microstructure of Sn thin films and its effect on whisker growth after stretching and annealing”, Proceedings of 3rd Asian Materials Data Symposium (AMDS2012), Naha, Japan, 2012
- R4. B. Illés, **B. Horváth**, T. Shinohara, G. Harsányi: “Tin Whisker Growth from Sn-Cu (0-5 wt%) Surface Finishes”, Proceedings of 17th SIITME conference, Timisoara, Romania, 2011

További tudományos közlemények

Konferencia-kiadványban megjelent angol nyelvű előadások:

- R5. B. Illés, **B. Horváth**, B. Lipák, “Investigating Whisker Growth on Annealed and Recrystallized Tin Platings”, Proceedings of 34th ISSE2011 conference, Tatranska Lomnica, Slovakia, 2011
- R6. B. Illés, **B. Horváth**, B. Lipák, A. Géczy “Investigating Whisker Growth on Immersion Tin Surface Finishing”, Proceedings of 35th ISSE conference, Bad Aussee, Austria, 2012
- R7. **B. Horváth**, G. Harsányi: “Mechanical stress induced whiskers”, Proceedings of 15th SIITME conference, Gyula, Hungary, 2009. pp. 389-393.
- R8. **B. Horváth**, “Review on problems of tin whiskers after RoHS changes”, Proceedings of 14th SIITME conference, Predeal, Romania, 2008. pp. 145-149.
- R9. **B. Horváth**, “The directive on RoHS, and the examination of the restricted materials with XRF machine”, Proceedings of 31st ISSE conference, Budapest, Hungary, 2008, pp. 130-133.

Egyéb publikációk:

- E1. **B. Horváth**, „Az ólommentes forrasztás környezeti hatásai”, ElectroNet magazine, 2008/5

Hivatkozott irodalom

- [1] Restriction of Hazardous Substances Directive 2002/95/EC
- [2] Telcordia GR78-Core, Issue 1, September 1997, Physical Design and Manufacture of Telecommunications Products
- [3] S.M. Arnold, "The Growth of Metal Whiskers on Electrical Components", Proceedings of IEEE Electrical Components Conference (1959) pp. 75-82
- [4] JEDEC (May 2005). "Measuring Whisker Growth on Tin and Tin Alloy Surface Finishes," JEDEC Standard 22A121, May 2005.
- [5] S.C. Britton, "Spontaneous Growth of Whiskers on Tin Coatings: 20 Years of Observation", Transactions of the Institute of Metal Finishes Vol. 52 (1974) pp. 95-102
- [6] J.A. Brusse, "Tin Whisker Observations on Pure Tin-plated Ceramic Chip Capacitors", AESF SUR/FIN Proceedings, Orland (2002) pp. 45-61
- [7] R.M. Fisher, L. S. Darken, K. G. Carroll, "Accelerated Growth of Tin Whiskers," Acta Metallurgica, 2 (3) (1954) pp. 368-372
- [8] B.Z. Lee, D.N. Lee, "Spontaneous Growth Mechanism of Tin Whiskers", Acta Materialia 46 (10) (1998) pp. 3701-3714
- [9] C. Xu, Y. Zhang, C. Fan, J. A. Abys, "Driving Force for the Formation of Sn Whiskers: Compressive Stress—Pathways for Its Generation and Remedies for Its Elimination and Minimization", IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing 28 (1) (2005) pp. 31–35
- [10] G. T. Galyon, L. Palmer, "An Integrated Theory of Whisker Formation: The Physical Metallurgy of Whisker Formation and the Role of Internal Stresses", IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing 28 (1) (2005) pp. 17–30