

Alacsony olvadáspontú ólommentes forrasztanyagok

Baumli Péter

*Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.,
Mérnöki Divízió (BAY-ENG), Miskolc.*

*Nanotechnológiai Kihelyezett Intézeti Tanszék, Miskolci Egyetem.
peter.baumli@bayzoltan.hu, peter.baumli@gmail.com*

A napjainkban is jelentős forrasztás technológia, az utóbbi évek törekvéseinek köszönhetően nagymértékű fejlesztésen megy keresztül. Mint mindent fejlesztést, ez esetben is a gazdasági érdekek, a minőségi mutatók javításának igénye és a környezetvédelmi követelményeknek való megfelelés motiválnak. Utóbbi elsődleges szerephez jutott az Európai Unió szabályozásának köszönhetően, mivel előírja, hogy a forrasztás technológia bizonyos szegmenseiből az ólomot, mint ötvözőt valamint több kritikus elemet el kell távolítani, le kell cserélni egyéb, a környezetet kevésbé terhelő ötvöző elemre.

Az ólommentes forrasztanyagok fejlesztése viszont számos mérnöki kérdést vet fel, amelyekre a kutatóknak választ kell adniuk, illetve bizonyos problémákra megoldást kell keresniük. Összefoglaló cikkemben ezen ólommentes forrasztanyagok fejlesztésére leggyakrabban használt ötvözeteket, azok viselkedését, releváns tulajdonságát ismertetem.

1. Bevezetés

Az elektronikai ipar számos területén az egyes alkatrészeket forrasztott kötésekkel alakítják ki. Az ilyen termékek élettartama, funkcionalitása szempontjából elengedhetetlen ismernünk a forrasztanyagok mechanikai tulajdonságait, melyeket nagyban meghatároz a forrasztanyag és a forrasztandó fémek között ébredő tapadás, azaz az adhézió mértéke. Ez utóbbi szoros kapcsolatban áll a határfelületi jelenségekkel, azon belül is a nedvesítési tulajdonságokkal. Ha a fémolvadék a szilárd fém felületét nem nedvesíti jól, akkor gyenge kötés alakulhat ki, amely a forrasztott kötést ért mechanikai terhelésnek, vibrációnak nem, vagy csak kis mértékben képes ellenállni.

A forrasztanyagok fejlesztésében ez idáig legsikeresebb ötvözet az ón (Sn)-ólom (Pb) ötvözet volt, melynek megfelelő kémiai, fizikai, termikus tulajdonságai megbízható kötést eredményeztek a forrasztás technológiában [1]. A leggyakrabban alkalmazott ólomtartalmú ötvözet az eutektikus összetételű 63Sn-37Pb ($T_{olv}=183^{\circ}\text{C}$) és a közel eutektikus 60Sn-40Pb ($T_{olv}=190^{\circ}\text{C}$) [2]. Az ón-ólom ötvözetben, az ólom mennyiségének hatására az ón-ötvözet felületi feszültsége csökken. A tiszta ón felületi feszültsége 232°C -on 550mN/m , ami az eutektikus összetételű 63Sn-37Pb ötvözetben már csak 470mN/m (280°C -on) [3], ennek köszönhetően javul a nedvesítés a forrasztanyag és a forrasztandó felület között [4]. Az ólom másik pozitív tulajdonsága, hogy az ónban, szennyezőként, 0,1 tömeg % Pb tartalom esetén is képes megakadályozni a fehér vagy béta (β)-ón szürke vagy alfa (α)-ón átalakulást. Az (β)-(α)

átalakulás ugyanis mintegy 26 tömeg % térfogat növekedéssel jár, mellyel a kialakított kötést, ezáltal a forrasztott alkatrészeket tönkretetheti [5].

Az ólommentes forraszanyagok fejlesztése során, az új forraszanyag családoknak a tradicionálisan alkalmazott ón-ólom ötvözetek fent említett tulajdonságait kell tudniuk reprodukálni, esetleg jobb tulajdonságokat felmutatniuk. Az ónhoz adagolt ötvözőknek így a következő tulajdonságokat kell alapvetően kielégíteniük [2, 6, 7]:

1. csökkentsék a tiszta ón felületi feszültségét, javítsák a nedvesítési tulajdonságokat,
2. tegyék lehetővé a gyors vegyületképződést diffúzió útján,
3. javítsák az ón képlékenységet,
4. gátolják meg a (β) -ón $-(\alpha)$ -ón átalakulást,
5. az ötvözet olvadáspontja közel legyen 183°C -hoz,
6. javítsák a kötés mechanikai tulajdonságát,
7. gátolják meg, vagy szorítsák vissza a forrasztás során az óntű képződést.

Napjainkig számos ólommentes, ónalapú forraszötvözetet fejlesztettek ki. A fejlesztések során felismerték, hogy ha a fent felsorolt jellemzők együttes teljesülésének optimumát keresik, akkor az ón-ólom ötvözet tulajdonságait sok esetben nem lehet megközelíteni csupán egyetlen ötvözővel, így a két alkotós ötvözetek mellett nagy számban találunk háromalkotós ötvözetet, de négyalkotós és több alkotós ötvözetek is előfordulnak.

A fejlesztési irányokat meghatározó lehetséges ötvözeteket és azok tulajdonságait, a kétalkotós rendszerekből kiindulva az 1. táblázat foglalja össze. Az ötvözők között első helyen szerepel a bizmut (Bi) és az indium (In), valamint a cink (Zn), ezüst (Ag), antimon (Sb), réz (Cu) is.

1. táblázat Ólommentes forraszanyagok előnyei és hátrányai

	A forraszanyag előnyös tulajdonsága	A forraszanyag nem kívánt tulajdonsága
Sn-Ag	Nagyobb szilárdságú, jobb termikus kifáradási tulajdonságú, mint a klasszikus Sn-Pb ötvözet [8]. Az ezüst hatására javulnak a forraszanyag mechanikai tulajdonságai [9].	Roszsabb nedvesítési tulajdonsága van, mint az Sn-Pb ötvözetnek, magas az eutektikus pontja. Az ötvözet mikrostruktúrája magasabb hőmérsékleten nem stabil, így forrasztási hibák jelenhetnek meg [10].
Sn-Ag-Cu	Alacsonyabb eutektikus ponttal rendelkezik mint az Sn-Ag ötvözet, kitűnő mechanikai tulajdonság jellemzi.	Nem kívánt tulajdonságai megegyeznek az Sn-Ag ötvözetével.
Sn-Zn	Eutektikus pontja 200°C , alacsonyabb, mint az Sn-Ag ötvözeté. Az ötvözet olcsó, jó mechanikai tulajdonságú [11].	Könnyen oxidálódik [12, 13]. Emellett rossz az ötvözet nedvesítési tulajdonsága.
Sn-Zn-Bi	A Bi adagolásával javul az ötvözet nedvesítési tulajdonsága réz szubsztráton. Az eutektikus pont	A bizmut önmagában rideg fém. A bizmut szegregációhajlama nagy, ami a forraszkötés mechanikai tulajdonságait

	meglehetősen alacsony: 127°C [13, 14].	ronthatja [13, 15].
Sn-Ni, Sn-X-Ni	A nikkelt a forraszanyagban csökkenti a Cu ₃ Sn fázis mennyiségét [16], valamint 800 ppm koncentrációig javítja a forraszötvözet mechanikai tulajdonságait [17].	Magasabb nikkelt koncentráció mellett romlanak a mechanikai tulajdonságok [17], emellett növekszik az ötvözet olvadáspontja is.

Az 1. táblázatban felsorolt ötvözetek hátrányos tulajdonságai természetesen javíthatók, pl. egyéb ötvözők hozzáadásával, vagy megfelelően megválasztott forrasztási technológiával.

A következő fejezetekben a főbb ólommentes forraszanyag ötvözetek tulajdonságait mutatom be részletesen.

2. Ólommentes forraszanyagok általános jellemzése

2.1. Az Sn-Ag-Cu ötvözet

Az ólom kiváltására az egyik megfelelő ötvöző az ezüst, mivel az ezüst hatására az ónalapú ötvözet mechanikai tulajdonságai javulnak. Az Sn-Ag ötvözetben az Ag, míg az Sn-Cu ötvözetben a Cu koncentráció növekedésével kb 50 mol% koncentrációig az olvadék felületi feszültsége nem növekszik, majd az 50 mol% ötvöző tartalomtól kezdődően nő az olvadék felületi feszültsége [22, 23], így, ha pl az ezüst vagy a réz a szilárd/folyadék határfelületen határfelület aktív elem (ez a jelenség kis ötvöző koncentráció esetén jelentkezik), akkor mindkét ötvöző csökkentheti az ötvözet peremszögét¹, alkalmazásukkal javulhatnak az ötvözet nedvesítési tulajdonságai. Az ezüst hatására az Sn-Ag olvadék peremszöge réz szubsztráton csökken. A 4 tömeg % Ag tartalmú Sn-Ag ötvözet peremszöge 18-19°, ezzel szemben a tiszta ón peremszöge 27° [24].

A fémolvadék/szilárd fém rendszerben az olvadék a szilárd fémből valamennyit beold, a szubsztrátban egy krátert létrehozva. Ez esetben nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a beoldott fém megváltoztatja a forraszanyag összetételét, amely változás a nedvesítési és a mechanikai tulajdonságokat is megváltoztathatja, mind pozitív, mind negatív irányba. Az

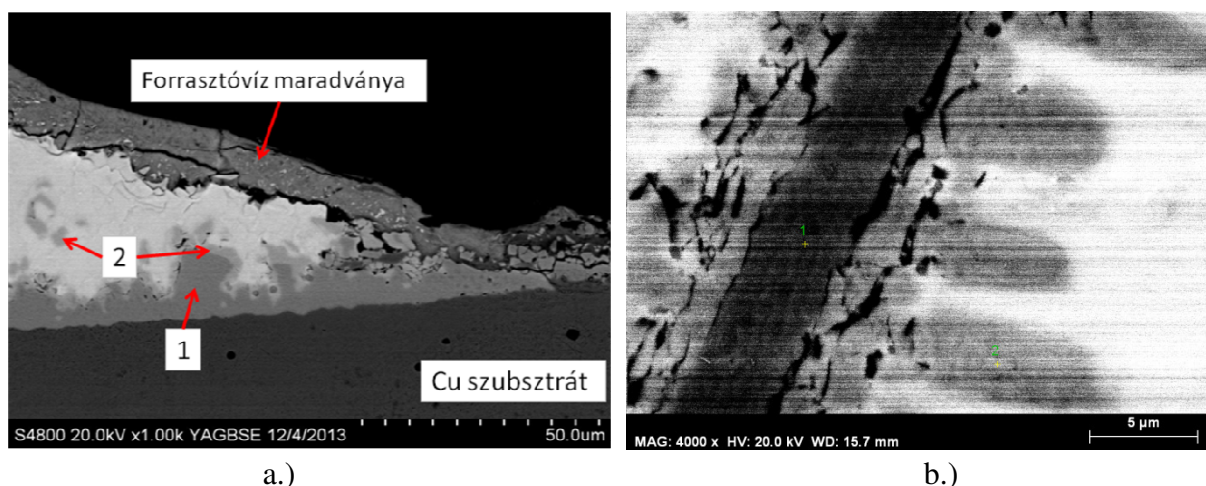
¹ Ha egy kisméretű fémolvadék cseppet helyezünk el egy sík szilárd anyag felületén, akkor a fémolvadék egy jellemző alakot vesz fel, amely lehet gömb, félgömb vagy teljesen elterülő, attól függően, hogy a rendszerben milyen felületi feszültség és adhéziós energia uralkodik. A kialakult csepp-alakot az ún. peremszöggel/kontaktszöggel jellemezhetjük, mely a folyadék és a szilárd fázis érintkezési pontjában a folyadékcsepp kontúrjához húzott érintő és a szilárd sík közötti szög a folyékony fázis irányában [18, 19].

Fémolvadék/szilárd fém rendszerek esetén a nedvesítés során oldódással és vegyületképződéssel is számolnunk kell [20]. Ebben az esetben a fémolvadék csepp a szilárd fémből közel gömbsüveg alakú térrészt old ki, és a fémolvadék csepp peremszögén (Θ_1) kívül a kioldott résznek/kráternek is meghatározhatunk egy peremszög értéket (Θ_2).

oldódással kísért nedvesítésre tipikus példaként hozzák fel az irodalomban az $\text{Sn}_{(l)}/\text{Bi}_{(s)}$ rendszert [25], de hasonlóan jó példa lehet az $\text{Sn-Ag}_{(l)}/\text{Cu}_{(s)}$ és az $\text{Sn-Ag-M}_{(l)}/\text{Cu}_{(s)}$ rendszerek is. Ráadásul az olvadék/szilárd határfelületen intermetallikus réteg is kialakul, amely a mechanikai tulajdonságokat befolyásolja.

$\text{Sn-Ag}_{(l)}/\text{Cu}_{(s)}$ és $\text{Sn-Pb}_{(l)}/\text{Cu}_{(s)}$ rendszerek viselkedését összehasonlítva azt tapasztalhatjuk, hogy a szubsztrát anyag nagyon gyorsan oldódik mindkét forraszanyag esetén a kezdeti stádiumokban. Viszont fontos különbség, hogy az Sn-Ag esetében a szubsztrát nagyobb mértékben oldódik, mint az Sn-Pb ötvözet esetében, aminek a magyarázata az lehet, hogy a réz Pb-Sn ötvözetbe való beoldódásához szükséges aktiválási energia kétszerese (116kJ/mol) az Sn-Ag ötvözet esetében meghatározott (54 kJ/mol) értéknek [25]. A beoldott szubsztrát elemeinek pozitív hatására példa, az $\text{Ag-Cu}_{(l)}/\text{Cu}_{(s)}$ rendszer, ahol a beoldódott többlet réz mennyisége a csepp területét, azaz nedvesítését javította, szignifikánsan megnövelte a csepp terjedési sebességét [21].

$\text{Sn-Ag}_{(l)}/\text{Cu}_{(s)}$ rendszer esetén, 400°C-on elvégzett nedvesítési kísérletek eredményeit mutatja az 1. ábra. Az 1a. ábra SEM felvételén jól látható a beoldódási kráter, valamint a határfelületen létrejött vegyület réteg, 1. és 2. ponttal jelölve. A határfelületi intermetallikus réteg, mint ahogy a felvételen is jól látható, két különböző összetételű vegyület. A rézhez közelebb Cu_3Sn fázis, rajta Sn_5Cu_6 . A forraszanyag belsejében is, hasonló szerkezetű, tús fázis jelenik meg. Az intermetallikus túkristályok egy központi SnCu_3 összetételű magból és egy rákristályosodott Sn_5Cu_6 összetételű rétegből állnak (1b. ábra) [24]. A forraszanyagban megjelenő intermetallikus fázis nem feltétlenül rontja a kötés mechanikai tulajdonságait, viszont az Cu_3Sn fázis mennyiségét a kutatók is és a felhasználók is igyekeznek csökkenteni.



1. ábra. a.) A levegőn, forrasztóvízzel 400°C-on vizsgált 0,5 tömeg % $\text{Ag-Sn}/\text{Cu}$ rendszer szilárd/folyadék határrétege és b.) egy intermetallikus túkristály nagyított képe [24]

Az iparban a Sn-Ag-Cu (SAC) ötvözetcsalád alkalmazása elterjedt. A forrasztás során ezen forraszanyagok is oldanak be a szubsztrátból, a forrasztandó fémből. Amennyiben a

forrasztandó alapanyag réz, akkor nem a SAC105-SAC405 ötvözetek a legmegfelelőbbek a forrasztáshoz, hanem a magasabb réz tartalmú SAC110-SAC410, amelynek a réz tartalma 1,0-1,2 tömeg % az ezüst tartalma pedig 1-4 tömeg% között változik [52].

Sn-Ag-Cu olvadék nedvesítési tulajdonságai tovább javíthatóak ritkaföldfémekkel való ötvözéssel. Így például cérium (Ce) és lantán (La) keverék 0,1 tömeg % jelenléte az Sn-Ag-Cu olvadékban 10°-kal csökkenti az alapötvözet peremszögét (ritka földfém nélkül a peremszög 53°) [26], ahogy az Sn-Ag ötvözethez adagolva is hasonló hatás érhető el (ritka földfém nélkül a peremszög 45°) [27]. A tisztán cériummal ötvözött Sn-Ag ötvözet nedvesítési tulajdonságai is javulnak, peremszög értéke megközelíti az Sn-Pb ötvözetét. Természetesen a Ce tartalmú ötvözet tulajdonságai a magasabb kísérleti hőmérséklet következtében is javulhatnak az ólom tartalmú ötvözethez képest, mivel az olvadáspontja magasabb, mint az Sn-Pb ötvözeté [28].

Az Sn_{3,8}Ag_{0,7}Cu ötvözet nedvesítési tulajdonságai, ezzel azonosan a területi tulajdonságai Er koncentráció növelésével javulnak, azaz csökken a peremszög, jobban szétterül a szubsztráton a forrasztanyag. Az Erbium (Er) nedvesítés javító hatása azonban csak 0,25 tömeg % tartalomig érvényesül. Ennek oka, hogy a ritkaföldfémek hajlamosak az oxidációra, és ezt az oxidot a forrasztanyag már rosszul nedvesíti [29].

A ritkaföldfémek mellett egyéb, elemeket is alkalmaznak a nedvesítés javítására. Sn-3,13 tömeg% Ag-0,74 tömeg%Cu ötvözet egyensúlyi peremszöge 37°, ami például indium ötvözés hatására 22°-ra csökken 75 atom% In tartalom mellett [30].

2.2. Az Sn-Bi, Sn-Zn, Sn- Bi-Zn ötvözet

Az eutektikus összetételű 43 tömeg%Sn-Bi ötvözet olvadáspontja139°C, szemben az eutektikus 63 tömeg%Sn-Pb ötvözet 183°C-os olvadáspontjával [31]. Az Sn-9tömeg% Zn eutektikus ötvözet 198°C-os olvadáspontú, mely csak 15°C-kal magasabb az eutektikus Sn-Pb ötvözeténél [32]. A háromalkotós Sn-Bi-Zn ötvözet eutektikus pontja pedig 127°C [15], amely lehetővé teszi az alacsonyabb hőmérsékletű alkalmazást is.

Az Sn-Zn forrasztanyagokat jó mechanikai tulajdonság jellemzi, olcsó ötvözet, ugyanakkor a cink tartalom miatt ez az ötvözet forrasztás közben nagyobb odafigyelést igényel, mivel a cink könnyen oxidálódik. Emellett a cink tartalom növelésével az Sn-Zn ötvözet nedvesítési tulajdonságai réz szubsztráton romlanak [32]. Az Sn-Zn_(l)/Cu_(s) rendszer nedvesítés vizsgálataiból tudjuk, hogy az olvadék/szubsztrát határfelületen, a rézhez közel egy vékony β-CuZn fázis keletkezik, ezt követően egy réteg γ-Cu₅Zn₈, és a forrasztanyaghoz kapcsolódva egy vékony réteg ε-CuZn₄ fázis jön létre [33].

A cink mellett ígéretes ötvöző a bizmut is. A bizmut tartalmú ón alapú forrasztanyagok esetében fontos tulajdonság, hogy a bizmut szegregációra hajlamos. Ennek egyik oka az lehet, ha az Sn-Bi ötvözet szolidusz és likvidusz görbe közötti tartománya, azaz az olvadási hőmérséklet tartomány széles hőmérséklet intervallumú, ezáltal a kivált bizmut szemcsék ülepedhetnek, nem lesznek az olvadékban homogéne elosztatva. A forrasztanyagban megjelenő Bi kiválás rideg törékeny tulajdonsága miatt, a forraszkötés fizikai és mechanikai

tulajdonságainak a romlását idézheti elő. Azonban ha a szegregáció során létrejött rideg fázis csak kis mennyiségben, homogéne eloszlata található meg az ón mátrixban, a mechanikai tulajdonságot javíthatja is [35]. A szegregációs folyamat elkerülhető eutektikus, illetve kis olvadási hőmérséklet tartománnyal rendelkező ötvözetek alkalmazásával [34].

Az elektronikai iparban elsősorban a háromalkotós Sn-Bi-Zn ötvözetet alkalmazzák, amely a bizmut és a cink jó tulajdonságait ötvözi, azaz jó mechanikai és jó nedvesítési tulajdonságú [32].

Nedvesítési szempontból az ólomtartalmú és a bizmut tartalmú eutektikus ötvözeteket összehasonlítva azt tapasztaljuk, hogy a 63Sn-37Pb forrasztóanyag ötvözetek (peremszögek átlag értéke: 10°) jobban nedvesítették a Cu felületét, mint a 42Sn-58Bi (átlag peremszög érték: 24°) [36]. Bizmut tartalmú ötvözet esetén hasonló eredményt kapunk, ha nem eutektikus Sn-Bi ötvözetet vizsgálunk. Ugyanis 30-58 tömeg % Bi-Sn olvadákok esetén a peremszög $22-24^\circ$ között változik [31]. Az Sn-Bi ötvözet nedvesítési tulajdonságai javíthatóak Sb ötvözéssel. Mintegy 2 tömeg % Sb jelenléte is jelentősen növeli a forrasztóanyag szétterülését. Ugyanakkor, ha Sn-1,8Sb-Bi ötvözetben a bizmut tartalmat 42-52 tömeg % között változtatjuk, kismértékű romlás figyelhető meg a forrasztóanyag szétterülésében [35].

Különböző összetételű ónalapú ötvözeteket vizsgálva azt tapasztalhatjuk tehát, hogy a legjobb nedvesítési tulajdonsággal, az Sn-Pb ötvözet rendelkezik. Az Sn-Pb területi tulajdonságát megközelíti az Sn-Bi, majd az Sn-In, Sn-Sb, Sn-Cd ötvözetek következnek egyre rosszabb területi tulajdonsággal. Ezen ötvözetekhez képest az Sn-Zn ötvözet nedvesítési tulajdonsága a legrosszabb, azonos körülményeket feltételezve [37, 38].

2.3. Az Sn-Ni, Sn-X-Ni ötvözet

Sn-Cu-Ni ötvözetben a Ni koncentrációjának növelésével javíthatóak a mechanikai tulajdonságok [39]. Sn-0,7Cu ötvözetbe adagolva a nikkelt, 800 ppm Ni koncentráció értékig a szakítószilárdság, folyáshatár és keménység értékek javulnak. Ha az ötvözet 800ppm-től több nikkelt tartalmaz, akkor ezen tulajdonságok romlani kezdenek [17], amely a primer $(\text{Cu,Ni})_6\text{Sn}_5$ fázis megjelenésével magyarázható. Az Sn-Cu-Ni ternár rendszerben a $(\text{Cu,Ni})_6\text{Sn}_5$ mellett $(\text{Ni,Cu})_3\text{Sn}_4$, valamint $(\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x)_6\text{Sn}_5$ összetételű intermetallikus vegyületek képződésével is számolnunk kell. Abban az esetben, ha $(\text{Ni,Cu})_3\text{Sn}_4$ fázisra kristályosodik a $(\text{Cu,Ni})_6\text{Sn}_5$ fázis akkor a két fázis között repedések jelennek meg [40, 41, 42].

Sn-0,7tömeg% Cu, Sn-0,7tömeg% Cu-0,05tömeg% Ni és Sn-0,7tömeg% Cu-0,1tömeg% Ni ötvözetek nedvesítését vizsgálva réz szubsztráton, az egyensúlyi peremszög értéket 500-700s közötti hőntartási idő után érhetjük el, melynek értékei a felsorolt ötvözeteknek megfelelően 19° ; $12,9^\circ$, valamint $36,0^\circ$ [43]. A vizsgált három ötvözet közül az Sn-0,7tömeg% Cu-0,05tömeg% Ni ötvözet peremszöge a legkisebb ($\Theta_{t=0s}=35^\circ$). Ennek az ötvözetnek az egyensúlyi peremszöge ($\Theta_{t=700s}=12,9^\circ$) megegyezik az eutektikus összetételű Sn-37tömeg% Pb ötvözetével ($\Theta_{\text{Sn-Pb}}=13^\circ-16^\circ$) [43, 44].

Az Sn-Ag-Ni és Sn-Ag-Cu ötvözeteket összehasonlítva nedvesítési tulajdonságok szempontjából az Sn-Ag-Cu esetében kisebb peremszög értékeket kapunk, mint Sn-Ag-Ni esetében. A réznek tehát pozitív, míg a Ni-nek negatív hatása van a nedvesíthetőség szempontjából [16]. Ugyan a nikkelt ebben a rendszerben a nedvesítést nem javítja, viszont jelenléte visszaszorítja a Cu_3Sn kialakulását, a határfelületen vékonyabb Cu_3Sn réteg alakul ki, mint Sn-Ag-Cu/Cu alkalmazása esetén.

Sn-0,7tömeg% Cu/Cu és Sn-0,7tömeg% Cu-0,3tömeg% Ni/Cu rendszert vizsgálva, a 10 napos öregítés után azt tapasztalhatjuk, hogy Sn-0,7tömeg% Cu/Cu Cu_3Sn réteg alakul ki a szubsztráthoz közel. Ezt az intermetallikus réteget választja el a forrasztanyagtól egy Cu_6Sn_5 réteg. Abban az esetben, ha forrasztanyagként a nikkelt tartalmazó Sn-0,7tömeg% Cu-0,3tömeg% Ni ötvözetet használjuk a réz szubsztráton, 10 napos öregítés után sem azonosítható Cu_3Sn réteg [45].

A ritkaföldfémeket és egyéb mikroötvözőket a nikkelt tartalmazó ón-ötvözetekhez is használják, hogy a nedvesítési tulajdonságokat javítsák. Ritkaföldfémek közül a nedvesítést javítja az Eu (SnCuNi/Cu rendszer esetén) [46].

Az indium ugyancsak javítja a nedvesítési tulajdonságokat. Az indium tartalmú és indium mentes ötvözet területét réz szubsztráton összehasonlítva azt tapasztaljuk, hogy 0,3tömeg% indium jelenléte az Sn-0,7tömeg% Cu-0,2tömeg% Ni-In ötvözetben 15,6 %-kal nagyobb rézfelületen terül szét, azaz jobban nedvesíti a réz szubsztrátot, mint az indium mentes [47].

3. Az atmoszféra és a segédanyagok hatása a nedvesítésre

A nedvesítési eredmények értékelésénél fontos szempont, hogy a nedvesítés vizsgálat során milyen fluxot használunk az oxidáció megakadályozására. Szignifikáns különbség figyelhető meg a nedvesítési tulajdonságokban a forrasztanyag szétterülésében, attól függően, hogy gyantás vagy egyéb szerves anyagot tartalmazó fluxot alkalmaztunk [35, 48]. Sn-Cu-Ni/Cu rendszer nedvesítési vizsgálataiban során NC^2 -folyasztó szer és a WS^3 flux segítségével kapott peremszög értékek hibahatáron belül szórnak, viszont az R^4 -folyasztó szerrel végzett kísérletek eredményei szignifikánsan, akár 20°-kal is eltérnek a másik két típusúval kapott eredményektől [48].

A tiszta ón nedvesítési tulajdonságai is nagyban függenek attól, hogy a vizsgálatot milyen környezetben, milyen atmoszférában, illetve hőmérsékleten végezzük. Hidrogén atmoszféra alatt 400°C-on a tiszta ón kontaktszöge rézlemezre 23° [19]. Argon védőgáz alkalmazása mellett a peremszög ugyanezen a hőmérsékleten 55°, tisztított hidrogén mellett pedig 26° [49, 50, 51].

4. Összefoglalás

² NC=no clean, azaz a forrasztás után nem szükséges eltávolítani

³ WS=vízben oldható folyasztó szer, a forrasztást követően el kell távolítani

⁴ R=nem aktivált, gyanta alapú folyasztó szer.

Az Európai Unió szabályozásának megfelelően a forrasztás technológia bizonyos szegmenseiből az ólmot, mint ötvözőt valamint több kritikus elemet el kell távolítani, le kell cserélni egyéb ötvöző elemekre. Láthatjuk, hogy a klasszikus ón-ólom ötvözet jó tulajdonságainak elérésére az ólom pótlására két-három, vagy akár több ötvöző is szükséges.

Az ólom tartalmú ónalapú forrasztanyagok helyettesítésére számos ólommentes forrasztanyag ötvözetet fejlesztettek már ki, melyek közül a legjellemzőbb kétalkotós ötvözetek a Sn-Ag, Sn-Cu, Sn-Zn, Sn-Bi, a háromalkotósak ötvözetek pedig a Sn-Ag-Cu, Sn-Zn-M (ahol M=Ni, Bi, In, Ga, Ag). Ezen ötvözetek közül az ólom tartalmú forrasztanyag helyettesítésére az Sn-Ag és az Sn-Cu ötvözetek alkalmasak, azonban ezek olvadáspontja sokkal magasabb a hagyományos eutektikus Sn-Pb ötvözeténél, amely korlátozhatja az alkalmazhatóságot. A magasabb olvadáspontú forrasztanyagok alkalmazása szükségessé teszi a forrasztandó alkatrészek fejlesztését is, hogy a magasabb forrasztási hőmérsékletet elviseljék.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva 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. A szerző kutatási tevékenységét a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával végzi.

Felhasznált irodalom

- [1] Loomans ME, Vaynman S, Ghosh G, Fine ME. Investigation of multicomponent lead-free solders, *Journal of Electronic Materials*, 23 (1994) 741–746
- [2] Mulugeta Abteu, Guna Selvaduray: Lead-free Solders in Microelectronics, *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 27(5-7)(2000) 95–141
- [3] C. Handwerker, U. Kattner, K.W. Moon, *Fundamental Properties of Pb-Free Solder Alloys*, *Lead-Free Soldering*, (2007) 21-74
- [4] T.P. Vianco, Development of alternatives to lead-bearing solders, in: *Proceedings of the Technical Program on Surface Mount International*, San Jose, CA., (1993) 1-14
- [5] R.E. Reed-Hill, *Physical Metallurgy Principles*, 4. edition, PWS Publishing Company, Massachusetts, (1994) 306–307
- [6] Laurila T, Vuorinen V, Kivilahti JK. Interfacial reactions between lead-free solders and common base materials. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 49 (2005) 1–60
- [7] Laurila T, Vuorinen V, Paulasto-Krockel M. Impurity and alloying effects on interfacial reaction layers in Pb-free soldering. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 68 (2010) 1–38
- [8] M. Fukuda, K. Imayoshi, Y. Matsumoto, Effects of Thiourea and Polyoxyethylene Lauryl Ether on Electrodeposition of Sn-Ag-Cu Alloy as a Pb-Free Solder, *Journal of The Electrochemical Society*, 149(2002) 244-249

- [9] Molnár Alíz, Kardos Ibolya, Molnár István, Gácsi Zoltán: Az ezüstartalom hatása ólommentes forraszanyagok tulajdonságaira, *Bányászati és kohászati lapok. Kohászat*, 147 (2) (2014) 17-20
- [10] K.S. Kim, S.H. Huh, K. Suganuma: Effects of intermetallic compounds on properties of Sn–Ag–Cu lead-free soldered joints, *Journal of Alloys and Compounds* 352 (2003) 226–236
- [11] K. C Hung, Y.C. Chan, H. C Ong, P. L. Tu, C. W. Tang, Effect of Pinhole Au/Ni/Cu Substrate on Self-alignment of Advanced Packages, *Materials Science and Engineering*, (2000) 87–94
- [12] Kwang-Lung Lin, Tzy-Ping Liu: High-Temperature Oxidation of a Sn±Zn±Al Solder, *Oxidation of Metals*, 50 (3-4) (1998) 255-267
- [13] K. Suganuma: Advances in lead-free electronics soldering, *Current Opinion in Solid State and Materials Science* 5 (2001) 55–64
- [14] K. Zheng, K. N. Tu, Six Cases of Reliability Study of Pb-free Solder Joints in Electronic Packaging, *Material Science and Engineering*, 38 (2002) 55-105
- [15] Ervina Efzan M. N., Aisyah Marini A.: A Review Of Solder Evolution In Electronic Application, *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 1 (1) (2012) 1-10
- [16] Jeong-Won Yoon, Bo-In Noh, Bong-Kyun Kim, Chang-Chae Shur, Seung-Boo Jung: Wettability and interfacial reactions of Sn–Ag–Cu/Cu and Sn–Ag–Ni/Cu solder joints, *Journal of Alloys and Compounds*, 486(1–2) (2009) 142–147
- [17] Gyenes Anett, Lanszki Péter, Nagy Erzsébet, Gácsi Zoltán: Nikkellel mikroötvözött Sn–0,7Cu ólommentes forraszanyagok vizsgálata, *Bányászati és kohászati lapok. Kohászat*, 147 (2) (2014) 12-17
- [18] Kaptay Gy.: Kerámiával erősített fémmátrixú kompozitok gyártásának határfelületi vonatkozásai I. A határfelületi kritériumok levezetése, *Bányászati és kohászati lapok. Kohászat*, 130 (5-6) (1997) 201-208
- [19] N.Eustathopoulos, M.G.Nicholas, B.Drevet: *Wettability at High Temperatures*, Pergamon Press, (1999)
- [20] Liang Yin, Anjali Chauhan, Timothy J. Singler: Reactive wetting in metal/metal systems: Dissolutive versus compound-forming systems, *Materials Science and Engineering A* 495 (2008) 80–89
- [21] O. Kozlova, R. Voytovych, P. Protsenko, N. Eustathopoulos: Non-reactive versus dissolutive wetting of Ag-Cu alloys on Cu substrates, *Journal of Materials Science*, 45 (2010) 2099–2105
- [22] Przemysław Fima: Surface tension and density of liquid Sn–Cu alloys, *Applied Surface Science* 257 (2010) 468–471
- [23] Przemysław Fima: Surface tension and density of liquid Sn–Ag alloys, *Applied Surface Science* 257 (2011) 3265–3268

- [24] Baumli Péter, Vaskó Gergely, Laczkó Sebastian, Sytcheva Anna, Svéda Mária: Ólommentes forraszanyagok nedvesítésvizsgálata: Sn-Ag/ Cu rendszer, Bányászati és kohászati lapok. *Kohászat*, 147 (2) (2014) 21-25
- [25] A. Sharif, Y.C. Chan: Dissolution kinetics of BGA Sn-Pb and Sn-Ag solders with Cu substrates during reflow, *Materials Science and Engineering*, B106 (2004) 126–131
- [26] D.Q. Yu, J. Zhao, L. Wang: Improvement on the microstructure stability, mechanical and wetting properties of Sn-Ag-Cu lead-free solder with the addition of rare earth elements, *Journal of Alloys and Compounds* 376 (2004) 170–175
- [27] L. Wang, D.Q. Yu, J. Zhao, M.L. Huang: Improvement of wettability and tensile property in Sn-Ag-RE lead-free solder alloy, *Materials Letters* 56 (2002) 1039 – 1042
- [28] Bo-In Noh, Jung-Hyun Choi, Jeong-Won Yoon, Seung-Boo Jung: Effects of cerium content on wettability, microstructure and mechanical properties of Sn-Ag-Ce solder alloys, *Journal of Alloys and Compounds* 499 (2010) 154–159
- [29] Yaowu Shi, Jun Tian, Hu Hao, Zhidong Xia, Yongping Lei, Fu Guo: Effects of small amount addition of rare earth Er on microstructure and property of SnAgCu solder, *Journal of Alloys and Compounds* 453 (2008) 180–184
- [30] Zbigniew Moser, Pavol Sebo, Władysław Gąsior, Peter Svec, Janusz Pstruś: Effect of indium on wettability of Sn-Ag-Cu solders. Experiment vs. modeling, Part I, *CALPHAD: Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry* 33 (2009) 63–68
- [31] Rontó Viktória, Tranta Ferenc, Svéda Mária, Baumli Péter, Czagány Máté: Ólommentes forraszanyagok vizsgálata: Sn-Bi ötvözetek, Bányászati és kohászati lapok, *Kohászat*, 147 (2) (2014) 7-12
- [32] S.H. Wang, T.S. Chin, C.F. Yang, S.W. Chen, C. T. Chuang: Pb-free solder-alloy based on Sn-Zn-Bi with the addition of germanium-. *Journal of Alloys and Compounds* 497 (2010) 428–431
- [33] Janusz Pstrus, Przemysław Fima, and Tomasz Gancarz: Wetting of Cu and Al by Sn-Zn and Zn-Al Eutectic Alloys, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 21 (2012) pp.606–613
- [34] Y. S. Kim, K. S. Kim, C. W. Hwang, K. Suganum: Effect of composition and cooling rate on microstructure and tensile properties of Sn-Zn-Bi alloys. *Journal of Alloys and Compounds* 352 (2003) 237–245
- [35] C. Zhang, S. D. Liu, G. T. Qian, J. Zhou, F. Xue: Effect of Sb content on properties of Sn-Bi solders, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 24 (2014) 184-191
- [36] F. Hua, Z. Mei, and J. Glazer: Eutectic Sn-Bi as an Alternative to Pb-Free solders. *Electronic Components and Technology Conference, Proceedings* (1998) 277 - 283
- [37] Wufeng Feng, Chunqing Wang, M. Morinaga: Electronic Structure Mechanism for the Wettability of Sn-Based Solder Alloys, *Journal of Electronic Materials*, 31 (3) (2002) 185-190

- [38] L. E. Felton, C. H. Raeder, D. B. Knorr: The Properties of Tin-Bismuth Alloy Solders. *JOM*, 45 (7) (1993) 28-32
- [39] M. Felberbaum, T. Ventura, M. Rappaz, A.K. Dahle: Microstructure formation in Sn-Cu-Ni solder alloys, *JOM*, 63 (10) (2011) 56-59
- [40] J.Y. Kim, Y.C. Sohn, J. Ju: Effect of Cu content on the mechanical reliability of Ni/Sn-3.5Ag system, *Journal of Materials Research*, 22 (3) (2007) 770-776
- [41] C.W. Chang, S.C. Yang, C.T. Tu, C.R. Kao: Cross-interaction between Ni and Cu across Sn layers with different thickness, *Journal of Electronic Materials*, 36 (11) (2007) 1455-1461
- [42] H.Yu, V. Vuorinen, J.K. Kivilahti: Solder/substrate interfacial reactions in Sn-Cu-Ni interconnection system, *Journal of Electronic Materials*, *Journal of Electronic Materials*, 36(2) (2007) 136-146
- [43] Bismarck Luiz Silva, Noé Cheung, Amauri Garcia, José Eduardo Spinelli: Evaluation of solder/substrate thermal conductance and wetting angle of Sn-0.7 wt%Cu-(0-0.1 wt%Ni) solder alloys, *Materials Letters* 142 (2015) 163-167
- [44] T Siewert, S Liu, DR Smith, JC. Madeni: Database for solder properties with emphasis on new lead-free solder, properties of lead-free solders, NIST & Colorado School of Mines, Golden, CO, United States (2002)
- [45] M.J. Rizvi, C. Bailey, Y.C. Chan, M.N. Islam, H. Lu: Effect of adding 0.3 wt% Ni into the Sn-0.7 wt% Cu solder Part II. Growth of intermetallic layer with Cu during wetting and aging, *Journal of Alloys and Compounds* 438 (2007) 122-128
- [46] ZHANG Liang, TIAN Lei, GUO Yonghuan, SUN Lei, MIN Yong: Wettability of SnCuNi-xEu solders and mechanical properties of solder joints, *Journal Of Rare Earths*, 32 (2014) 1184
- [47] L.F. Li, Y.K. Cheng, G.L. Xu, E.Z. Wang, Z.H. Zhang, H. Wang: Effects of indium addition on properties and wettability of Sn-0.7Cu-0.2Ni lead-free solders, *Materials and Design* 64 (2014) 15-20
- [48] M.J. Rizvi, C. Bailey, Y.C. Chan, H. Lu: Effect of adding 0.3 wt% Ni into the Sn-0.7 wt%Cu solder: Part I: Wetting behavior on Cu and Ni substrates, *Journal of Alloys and Compounds* 438 (2007) 116-121
- [49] Amal T. Hasouna, K. Nogi, K. Ogino: Effects of temperature and atmosphere on the wettability of solid copper by liquid tin, *Transactions of the Japan Institute of Metals*, 29 (1988) 748-755
- [50] Amal T. Hasouna, K. Nogi, K. Ogino: Effects of surface finish, heat treatment and cold working on the wettability of solid copper by liquid tin, *Transactions of the Japan Institute of Metals*, 29 (1988) 812-819
- [51] Ichiro Kawakatsu, Tadashi Osawa: Wettability of liquid tin on solid copper, *Transactions of the Japan Institute of Metals*, 14 (1973) 114-119
- [52] Dezső András - Kaptay György: Részforrasztásra használt ón-ezüst-réz rendszer egyensúlyi vizsgálata, *Bányászati és kohászati lapok. Kohászat*, 147 (2) (2014) 2-6