

Bírálat Dr. Illés Balázs MTA Doktori Értekezéséről, mely a Hő és anyagtranszport folyamatok vizsgálata az elektronikai felületszerelési technológiában címet viseli

A doktori mű 108 oldalas, ízlésesen kivitelezett munka. A témaválasztása egyrészt korszerű, részben sajnálatosan korszerű, mert egy EU direktíva miatta 2006 óta fennálló probléma kiküszöbölésére keresi a választ. A bevezetés után a gőzfázisú forrasztás numerikus modellezésével foglalkozik három alfejezetben, majd az ón whiskerek növekedését és hatásait tanulmányozza két alfejezetben. Az eredményekből hét új tudományos eredményeket tartalmazó tézispontot fogalmaz meg.

A szövegben gyakoriak az elütések, vagy szavak egybeírása, de ezek nem értelemzavaróak. A gőzfázisú forrasztásban a felületszerelt technológia alkatrészeit és a paszta formájában felvitt forrasztóötvtövetet felhevítik. Az ipar erre is sajátosan egyszerű megoldást talált egy u.n. Galden folyadékot és annak gőzét felhasználva a hőátadásra. Az egyszerű berendezés és módszer azonban az inhomogenitás révén számos problémát és pl. méretbeli korlátot vet fel. Ezeknek az elemzését a szükséges modellek megalkotásával, hővezetési egyenletekkel a szerző sikeresen és elegánsan végzi el.

Ehhez a részhez igazából csak kisebb kérdéseim vannak:

19. oldal: miért veszi a hordozó kezdeti hőmérsékletét 40 C-nak?

A szerző számolja és méri a a bemeztés utáni hőmérséklet értékeket. Ennek kapcsán kérdezem:

Bár el tudom fogadni a 2.5 ábrán látható számított és mért hőmérséklet értékekre vonatkozó magyarázatot, sőt meg kell jegyezmem, hogy két görbén még lehetne ez szisztematikus mérési hiba, de az 50 mm-es magasság esetében ez a tendencia már nem áll fenn. A görbéknek két töréspontja van, melyekre gondol a szerző, amikor a szimuláció és a mérések közti nagyobb eltérésre utal?

2.10 ábra. A gőztérben jelenlevő teljes gőz mennyiség nagyobb a gyorsabb bemeztés esetén. A bíráló jól gondola-e, hogy ez előnyös?

A 2.4 fejezet első mondata zavaróan hibás.

2.4 táblázat Tetszik a jelölt gondossága, amikor a kompozit hordozó anyag hővezetését különböző irányokban megadja.

30. oldal: A hiba a dinamikus kondenzátum réteg alkalmazásával csökken 5%-ról 1-re. Szép eredmény, de nem 1,71% volt a hiba a statikus kondenzátum modellben?

2.14 ábra környékén írja a rétegvastagság csökkenése meg inkább felgyorsul. Talán elegánsabb lenne a felgyorsul helyett fokozódik.

A 2.15-ös ábra három dimenziós és szép, de az értelmezést könnyebbé tehetné volna egy, vagy két metszet közlése, azaz kétdimenziós ábra. Ha jól értem a sarkokban a legvastagabb a mintadarab alsó felén a kondenzátum, azaz a folyékony forrasztanyag. 4s alatt eléri a 0,7

mm-t. Ez rendben van, de a réteg közepén egy nagy gödröt vélek látni. Ez hogyan magyarázható kvalitatív képpel?

38. oldal: Hogyan kell érteni azt, hogy a megemelt sarkokban a kondenzátum felfelé folyik?

A hordozó globális hőmérséklet különbségén dT -n a két felület hőmérsékletének különbségét kell-e érteni?

Mivel magyarázza, hogy az egyes anyagok hővezetési tényezője csekély hatással van a lokális hőátadás tényezőre? Hogyan alakulna ez mondjuk grafénnel borított hordozó esetén?

A 2.5 fejezetben a gőz viselkedését összenyomható folyadékként írja le. Miért használja ezt a kifejezést az összenyomható gázokkal szemben?

Az első igazi forrasztásnál, 2.5.2 fejezet a GALDEN LS230-at használta, míg korábbi vizsgálatai főleg a Galden 170-esre szorítkoztak. Mi ennek az oka?

A 2.30 ábra tárgyalásakor zárványok eltávolításáról beszél. Olvasatomban a gőztér leszívására az üregek kialakulásának megakadályozása miatt van szükség. Ha jól értem üregekbe bezárt gázokat hív zárványnak, ami nem a legjobb kifejezés.

A doktori munka első felében tehát a jelölt megalkotta a gőzfázisú forrasztási technológia komplex modelljét, amely tartalmazza a gőztér kialakulásának és a forrasztott áramkör bemelegítése miatti változásainak leírását, a kondenzációs filmréteg kialakulásának, valamint a gőztér eltávolításának leírását.

A megalkotott modellel bizonyította, a gőzfázisú forrasztáskor a fűtésében lényeges hányadot képez a gőztérből hővezetés útján érkező hő.

Bebizonyította, hogy a gőzfázisú forrasztáskor **a hordozó felszínén kialakuló kondenzációs filmréteg közel sem tekinthető statikusnak.** Rámutatott, hogy **a hordozó kissetű (1–10°-os) megdőntése egyenletesebbé teszi a hordozó fűtését.** Felhívta a figyelmet arra, hogy **figyelembe kell venni a rendszer hőveszteségeit, különösen az elszívócső hatását.**

Fenti eredményeiből tézispontokat fogalmazott meg, melyek ugyan nem rövidek, de kiemelte bennük a lényegét.

Ezek után az értekezés második felében a BME-n már tíz éve folyó forrasztanyag kísérletek eredményeiről számol be az ön whisker kialakulására és annak elkerülésére fókuszálva.

59 oldal a JEM 9320 FIB, illetve az ion mikroszkópként említett JEM 9320 SIM gondolom u.a. készülék lehet, amely Ga ionokkal pásztázza a felületet és készít képet a legjobb esetben (30 keV) 6 nm felbontással. Ha nem így van kérem javítson ki.

A 3.1 táblázat adatai felvetik azt a (nem irreális) jelenséget, hogy az intermetallikus fázisok, már a rétegek leválasztása alatt kialakulnak egy vékony réteg formájában. Ezt a 3.1 ábra tárgyalásakor a szerző is megjegyzi. Mekkora ezek tipikus vastagsága?

A 3.7 ábrával kapcsolatban megjegyezném, hogy a vékony Ni₃Sn réteg apró szemcsékből áll és az a) ábrán polikristályos diffrakciót ad, melyhez egy nagyméretű nikkell szemcsé diffrakciója adódik. Ezek után számomra ugyanezen fázis reflexióinak intenzitása a b) ábrán meglepő, feltételezve persze, hogy a diffrakciókat ugyanakkora területről, ugyanakkora térhatároló blendével készítették. A c) ábra természetes, hogy egykristály jellegű Ni₂Sn₄ diffrakciót mutat, hiszen a nagyméretű szemcsé a felvételen is látszik.

A 3.8.a felvételen a Ni (200)-nak nem kellene közelebb lennie a direkt nyalábhoz/középponthoz, mint a Ni(220)-nak?

Whisker tesztek és eredmények. Nagyon jó ha a képződött whiskerek száma alacsony, mondjuk 1, azaz egy a vizsgált 5x5 μm^2 területen, de egyetlen whisker is tönkretelheti-e az elektromos eszközünket?

A 3.11 c illetve d ábrákon nem látom a központi nyaláb helyét. Hogyan lehetséges ez? Mivel megadja a zónák (a kifelé mutató irány) indexeit ezért ezeknek ki kell jönniük a diffrakciós kép bármelyik két reflexiójának Miller indexeit vektor szorzatként összeszorozva. Ez teljesül is a d) ábrára, de az a) ábrára nem. A kérdésnek jelentősége van, hiszen kifejti, hogy a whisker orientációja mindig különbözik a környezetében levő szemcsékétől, így kérem ennek tisztázását.

72. oldal: Vákuumpárolgatás. Miért a teljesítményt adja meg? Mekkora volt a hordozó hőmérséklete a párolgatás közben? Reális-e a rétegvastagságnál jóval nagyobb szemcseméret?

3.15 ábra: Ha az M2-es pont a whisker alatt van, akkor hol van a whisker az ábrán?

Sajnos a 3.15c ábrán érthetetlen, hogy az Sn-nak hogyan szerepelhet (egy szemcséből) két reflexió ugyanazzal az index-el, (220). Ha két reflexió távolsága ugyanakkora, akkor egyik lehetne pl. 2, -2, 0, mert tetragonális rendszerben ezek ugyanakkorák, a 0, -2, 2 (ez kellene a feltüntetett összeghez, valószínűleg tiltott) viszont különbözik. Ez a probléma végigvonul a d) és e) ábrákon is. Az e) ábrán a Cu₆Sn₅ két reflexiója is (112)-ként szerepel, de ott nyilvánvalóan az egyiket -1,-1,-2- ként kell jelölni.

Ebben az esetben a Cu₃Sn azonosítása sincs kellően alátámasztva, mert a diffrakcióban, ha jól értem, (különösebben nem fejt ki), egyetlen polikristályos reflexiót tulajdonít ennek a fázisnak, ami egybeesik a Cu₆Sn₅ egyik reflexiójával. Elhiszem, hogy az összeszínezett EDS térképen különböző összetételű lehet ez a tartomány, de ilyenkor az elem térképeket valahogy külön egymás mellé téve is be kellene mutatni. A kutatóban annak a kérdésnek is fel kell merülnie, hogy ha egy fázisról elektrondiffrakciós felvételt készít, akkor annak miért csak ez egyik reflexióját látja.

Az indexelési problémák a 3.16-os ábrán tovább folytatódnak. A d) felvételen a központi nyaláb (000) kijelölése is kétséges, mivel itt nincs kitakarás (mint pl. a következő felvételen) a legerősebb foltnak kell lennie a központi nyalábnak. A másik két felvételen ez biztosan helyesen van jelölve. Visszatérve a d) felvételre, az (110) és az (111) összege nem (112). Ugyanez a probléma az e) felvételen is felfedezhető.

Kicsit előre ugorva megjegyzem, hogy a A 3.23 ábra SAED felvételein az indexelések helyesek.

Az interfészfolyás jelenségét különösnek találom. Mindenki tudja, hogy a szemcsehatárok menti diffúzió nagyon gyors, sokszorosa a tömbi diffúciónak. Ezzel nem magyarázható-e a whiskerekbe beépült réz mennyisége?

Nem értem, hogy a 3.20 ábra alatt (SAC forrasztanyag) miért írja, hogy „A jelen tesztnél mind a detektált whiskerek átlagos sűrűsége, mind az átlagos hossza elmaradt a 85oC/85RH% tesztnél tapasztaltaktól.” Ennek a kijelentésnek (ami nem is logikus) ellentmond a 3.4 Táblázat. Fel tudja oldani ezt az ellentmondást?

Ha egy whisker nodule/spirál alakú, akkor mit ért a hossza alatt és hogyan méri?

A galvanikus cella és az aktív katódvédelem magyarázata szemléletes ábrákkal illusztrált.

Az értekezés második felében leírt kísérletekből is számos tézist fogalmaz meg:

Azonosította és leírta az Sn/Cu réteghatáron kialakuló intermetallikus fázisokat. Összehasonlította a Sn/Cu és Sn/Ni/Cu rendszereket és igazolta, hogy az előbbiben intenzívebb az ón whisker képződés, melyre magyarázatot is adott.

Ón vékonyrétegek whisker képződési tulajdonságait megvizsgálva megállapította, magas hőmérsékletű öregbítés alatt ezek is képesek whiskereket növesztetni a képződött intermetallikus fázisok miatt. Elektron diffrakciós vizsgálatokkal megállapította, hogy a whiskerek bázisszemcséjének orientációja különbözik a szomszédos szemcsék orientációjától. Ez valószínűleg akkor is fedi az igazságot, ha egyes esetekben a zónatengely meghatározásába hiba csúszott. Ennek a tézisnek (6. tézis) a harmadik részét az interfészfolyásról viszont csak akkor tudom elfogadni, ha a védelem meggyőző ennek a magyarázatnak a szükségességéről és helyességéről.

Igazolta hogy korrozív közegben az ólommentes ón-ezüst-réz forrasztótvözetek is képesek ón whiskerek növesztésre, két mikroötvözős anyagnál elsőként igazolta a fenti állítást. Rámutatott, hogy ezekben az ötvözetekben a „csavarodott” (nodule) whisker típus feltűnően nagy számban való megjelenését a whiskerekbe kerülő réz- és bizmut atomok okozzák. Bebizonyította, hogy korrozív klímában az áramterhelés csökkenti az SAC ötvözetből képződő whiskerek számát. A jelenségek magyarázatát „aktív katód védelem” effektusával magyarázta.

Összefoglalva a jelölt leírta új tudományos eredményeit 7 tézispontban, amiből (egyelőre) egynek az egyik alpontját nem tudom elfogadni. Ezeket a disszertációban kellően kifejtette és a korábban publikált cikkekkel alátámasztotta.

A jelölt teljesíti az MTA doktori cím feltételeit, ismert a tudományos közéletben, jelentős az oktatási és tudományos tevékenysége. Mindezek alapján javaslom a doktori védés kitűzését és sikeres védés esetén a cím odaítélését.



Dr. Pécz Béla

2018. szeptember 14.

Megjegyzés: A vastagon szedett kérdések/megjegyzések azok, amikre feltétlen választ várok.