

Válasz Prof. Szabó Péter János opponensi véleményére

Először is nagyon köszönöm Prof. Szabó Péter János részletes opponensi munkáját, a hasznos megjegyzéseit és kérdéseit. A felmerült megjegyzésekre és kérdésekre a válaszaim a következőkben olvashatók.

Megjegyzés 1:

Az első részszel kapcsolatban az a kifogás merül fel, hogy a szakirodalmi összefoglaló túlságosan rövid, és elmarad a szakirodalom kritikai elemzése. Jó lett volna, ha ezt a Szerző leírja, mert így érthetőbbé válna, hogy miért pont a dolgozat 12. oldalán felsorolt célkitűzéseket tette maga elé a kutatómunka során.

Válasz: A gőzfázisú forrasztás irodalomforrása nem túl gazdag, különösen igaz ez a területen elért komplex és „értékes tudományos” munkákra számára, ahogy azt az irodalmi összefoglalóban is megjegyeztem. A fellelhető forrás nagy része csak kezdetleges és egyszerű kísérleteket tartalmaz, melyek ugyan hasznosak az ipar számára, azonban a technológia mélyrehatóbb tudományos leírására alkalmatlanok. Ezáltal nem volt igazán lehetőségem kritikai elemzést végezni. Tekintve, hogy a téma tudományos szempontból szinte „érintetlen”, ezért a kutatási irányokat magam jelöltem ki a saját tapasztalataim alapján.

Megjegyzés 2:

A fejezetben alkalmazott matematikai modellek általában korrektek, bár a Szerző nagyon nagyvonalúan kezeli az elhanyagolásokat. Jó példa erre a dolgozat 16. oldalán olvasható mondat: „A hőtágulás miatt kialakuló sűrűség-különbség okozta diffúziót a Galden-folyadékban elhanyagoljuk”. Miért? Mi teszi lehetővé ezt az elhanyagolást? A modell több pontján is indokolt lenne leírni, hogy az alkalmazott elhanyagolásokat miért alkalmazza a Szerző, pontosabban mi teszi lehetővé ezeket az elhanyagolásokat.

Válasz: Néhány esetben az elhanyagolásokat valóban nem indokoltam elég részletesen, ezért az alábbiakban kigyűjtöttem a modell leírása során említett elhanyagolásokat és egyesével megindokolom azokat:

„A fűtő- és hűtőkörök csövei a rendszer tetején kialakított kivezetéseken hagyják el a készüléket a külső egységek felé. Ezen kivezetések a modellezéskor és a munkatér sematikus ábráján is elhanyagolásra kerültek (2.3 ábra).”

A csövek kivezetőfuratai jól szigeteltek mind termikus, mind hermetikus szempontból, így a kivezetéseken sem hő-, sem gőzvesztés nem keletkezik, ezáltal a modellben való szerepeltetésüknek nincs értelme, feleslegesen növelné a modell geometriai komplexitását.

„A hőtágulás miatt kialakuló sűrűség különbség okozta diffúziót a Galden folyadékban elhanyagoljuk. A 2.17 – 2.19 kifejezésekben ismertetett anyagtranszport folyamatok által indukált energiatranszportok a belső energiák átadásával kezelhetők.”

A hőtágulás egy lényeges jelenség a Galden folyadékban, de jelen esetben nem az anyagtranszport miatt, hanem az ezzel járó energiatranszport következtében. A Galden folyadékban kialakuló sűrűséggradiens számunkra egy érdektelen adat, ugyanakkor ennek számítása jelentősen növelné a modell komplexitását. Ezzel szemben a hőtágulás miatti

energiatranszport lényeges jelenség, mivel a Galden folyadék hozzávetőlegesen 10%-kal gyorsabban melegszik fel (a mérések és számítások között ekkora különbség tapasztalható), mint ha ez a jelenség nem létezne. Ahogy azt az értekezésemben is megjegyeztem, ezt a folyamatot a következőképpen kezeltem: „A 2.17 – 2.19 kifejezésekben ismertetett anyagtranszport folyamatok által indukált energiatranszportok a belső energiák átadásával kezelhetők”

„Továbbá a modellezéskor elhanyagolom a hordozó szélén kialakuló kondenzátum réteg hatását, mivel a hordozó horizontális és vertikális felületein kialakuló kondenzátum réteg vastagságban jelentős méretbeli különbség van.”

Az anyagtranszport szempontjából az értekezésben már indokolt elhanyagolásnak van egy másik lényeges aspektusa is, mégpedig a hőtranszport szempontjából, ugyanis a hordozó horizontális és vertikális felületei között ~2 nagyságrend méretkülönbség van, és ezáltal az ott bevitt hőmennyiségben is. Az elhanyagolás tehát ebből a szempontból is indokolt.

Kérdés 1:

A 38. oldalon lévő 2.19. ábrán jól látszik, hogy a döntési szög függvényében a kondenzátum rétegvastagsága változik. Kérdésem: mivel magyarázható, hogy a legnagyobb döntési szögnél sokkal egyenletesebb kondenzátum-réteg alakul ki (legalábbis az ábra szerint), mint a kisebb szögeknél?

Válasz: Ahogy növeljük a döntési szöget, úgy válik egyre dominánsabbá a 2.35-ös egyenletben a gravitációs tag hatása, és lesz egyre nagyobb az áramlás sebessége az egész kondenzátum rétegben, ami csökkenti a kondenzátum réteg átlagos vastagságát (a 2.19-es ábrán ez is jól látszik), és ezzel együtt a rétegvastagságban kialakuló lokális vastagságbeli különbségeket is.

A kondenzációs technológiákban gyakran alkalmazott módszer a kondenzátorfelület megdöntése pontosan a fenti jelenség eléréséhez, amely homogenizálja a hőátadást és nagyszögű megdöntések esetén növeli a hőátadási tényezőt is.

Kérdés 2:

A vákuumos gőzfázisú forrasztás modellezésénél a dolgozat 44. oldalán mit jelent a „Reynold stressz tenzor” kifejezés? Vajon a Reynold-féle feszültségtenzort? Kérem a kifejezés pontosítását.

Válasz: Igen, a Reynolds-féle feszültségtenzorra gondoltam, ami a definíció szerint a következő: $R_{ij} \equiv \rho u_i' u_j'$

Megjegyzés 3:

Az első szakasz eredményeit a Szerző 4 tézispontban foglalja össze. A tézispontokban megfogalmazott állításokkal egyetértek, azokat új tudományos eredménynek elfogadom, azonban a tézisek megfogalmazásával gondom van. Véleményem szerint egy MTA doktori értekezés tézisei új tudományos megállapításokat kell, hogy tartalmazzanak, márpedig az ilyen kezdetű tézisek, hogy pl. „Bebizonyítottam, hogy a gőzfázisú forrasztáskor a fűtésében lényeges ... hánypadot képez a gőztérből hővezetés útján érkező hő”, nem új tudományos eredmények. Helyesebb lett volna magát az eredményt tézisként ismertetni: „A gőzfázisú forrasztáskor a

fűtésében lényeges ... hányadot képez a gőztérből hővezetés útján érkező hő”. Hasonló a véleményem a többi tézis megfogalmazásával kapcsolatban is, azzal együtt, hogy a mű tudományos eredményeit nem áll szándékomban megkérdőjelezni.

Válasz: A tézisek megfogalmazásával kapcsolatos kritikával részben egyetértek, azonban a „bebizonyítottam” szóval csak arra kívántam utalni, hogy ezen eredmények az általam elért új tudományos eredmények, és nem arra, hogy egy már meglévő megállapítást „csak” úgymond igazoltam.

Megjegyzés 4:

A munka második részében a Szerző az ón whiskerek növekedésének és az azt befolyásoló tényezőknek a hatását mutatja be. Sajnos itt is elmarad a szakirodalom kritikai elemzése, mindössze cca. 5 és fél oldal szakirodalmi összefoglalót olvashatunk. Jó lett volna, ha a Szerző leírja azt a közismert tényt, hogy a whiskerekben mérték ki azt az elméleti folyáshatárt, ami egyrészt igazolta a diszlokációelmélet helyességét, másrészt igazolta azt a tényt, hogy az egykristály whiskerek gyakorlatilag hiba- (tehát diszlokáció-) mentes anyagrészek.

Válasz: A gőzfázisú forrasztással ellentétben az ón whiskerek szakirodalma viszonylag gazdagabb, azonban az MTA értekezés limitált hossza miatt megpróbáltam csak a saját szűk területemhez tartozó legfontosabb eredmények ismertetésére szorítkozni és azokat olyan mélységben bemutatni, hogy az a munkám megértését és az eredményeim megítélését lehetővé tegye.

Kérdés 3:

Az 53. oldalon emlegetett „spirál diszlokáció” elnevezése a magyar szakirodalomban nem „csavardiszlokáció”?

Válasz: Egyetértek, helytelenül használtam az elnevezést.

Kérdés 4:

Mit jelent az 54. oldalon emlegetett „ideális kevert szemcseszerkezet”? A rétegben kialakuló szemcsék közötti maradófeszültségben milyen szerepet játszhat a szemcsék közötti kristálytani orientáció-különbség?

Válasz: A fenti két kérdésre egy pontban válaszolnék. Az ideális kevert szemcseszerkezettel arra utaltam, hogy a szemcséknek nincs tipikus alakja (pl. oszlopszerű) és orientációja. Ilyen esetben az ónréteg relaxációs képessége jobb bármilyen mechanikai feszültséggel szemben, ami csökkenti a whisker növekedést. Eppen ezért kedvező az ónréteg újrakristályosítása, és a kevert szemcseszerkezet elérése, ahogy azt a következő publikációmban is tárgyaltam:

B. Horváth, B. Illés, T. Shinohara, G. Harsányi, Whisker Growth on Annealed and Recrystallized Tin Platings, THIN SOLID FILMS 520 (2012) 5733-5740.

Megjegyzés 5:

A 3.6.d. ábrán a 65. oldalon célszerűbb lett volna távolság dimenzióban skálázni a függőleges tengelyt,

Válasz: Igen, távolságban is lehetett volna, a célom a méréspontok megadásával csak az volt, hogy jelezzem, a mérés nem folyamatos volt, hanem térben kvantált.

A 66. oldalon (meg utána még több helyen) ugye csak elírás a Selected Area Electron Diffraction-ra a SEAD rövidítés?

Válasz: Igen.

Az 59. oldalon említett JEM-mikroszkóp ugye JEOL?

Válasz: Igen

Kérdés 5:

Végül az egész forrasztásos témával kapcsolatban felvetődött bennem egy kérdés: a Pb-Sn eutektikus forrasztók olvadáspontja 184 °C volt. Az ólom kitiltása után (RoHS) alkalmazott SAC illetve mSAC forrasztók olvadáspontja 217-219 °C. Mekkora jelentősége van ennek az elektronikai iparban?

Válasz: A magasabb olvadáspont miatt jóval „szabályozottabb” és pontosabb forrasztási folyamatok / berendezések használata szükséges, mivel az alkatrészek és a hordozó által elviselt hőmérséklet nem növekszik. Az ólmos technológiához kiválóan alkalmazható infrasugaras fűtésű kemencék olcsók, egyszerűek és gazdaságosak, azonban erre a célra alkalmatlannak bizonyultak. Az iparnak át kellett állnia a kényszerkonvekciós kemencék alkalmazására, amelyek jóval komplexebbek, drágábbak és az energiafelhasználás szempontjából kevésbé hatékonyak, mint az infrakemencék. A kényszerkonvekciós kemencék további hiányossága, hogy kisszériás gyártáshoz alkalmatlanok, mivel kisméretben nem igazán megvalósíthatók. Erre a problémára kínál megoldást az általam is tárgyalt gőzfázisú forrasztás, amely kiválóan megvalósítható kisméretű készülékekben is.

Budapest 2018.12.18



.....
dr. Illés Balázs György