

DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS BÍRÁLATA

A doktori értekezés szerzője: **Agócs Emil**

A doktori értekezés címe: **Szilícium alapú nanokristályos szerkezetek minősítése spektroszkópiai ellipszometriával.**

1. A doktori értekezés témája, a bemutatott kutatás újszerűsége:

A dolgozat témája spektroszkópiai ellipszometria alkalmazása szilícium alapú vékonyrétegek jellemzésére. A téma kétrétű: egyrészt az ellipszometriát, mint mérési módszert, másrészt a szilícium vékonyrétegek fizikáját fedi le. Mindkét rész, bár több évtizedes intenzív kutatási múltra tekinthet vissza, a mai napig töretlenül, sőt gyorsulva fejlődik. Az ellipszométerrel egy vékonyrétegről visszavert fénysugár polarizációs állapotát vizsgálva akár szubnanométeres vastagságskálán összetételi és rétegszerkezeti változásokra következtethetünk. Az eljárást rutinszerűen használják például a félvezetőiparban, és az üvegiparban. Az ellipszometria egyre több orvosi és biológiai mintán is értékes eredményeket ad. Fehérjerétegek vagy bogarak optikai tulajdonságai is sikeresen vizsgálhatók ezzel a módszerrel. A mikroelektronika és a napelemipar legfontosabb alapanyaga még most is a szilícium, amely egyre bonyolultabb és összetettebb szerkezetű vékonyréteg formájában nyer újra és újra alkalmazást. A dolgozat témája tehát a kutatások élvonalába tehető, jelentős alkalmazási potenciállal. A jelölt értekezéssel összefüggő publikációs tevékenysége kiváló. Az értekezés alapjául szolgáló publikációk száma: 4, ebből referált nemzetközi folyóiratban jelent meg 2 és referált proceedingsben 2. A konferencia közlemények száma: 9. Az értekezéshez nem kötődő referált publikációk száma: 8, a konferencia közlemények száma: 9. Ez a publikációs tevékenység messze felülmúlja a PhD fokozat által támasztott követelményeket, és azt is mutatja, hogy a nemzetközi tudományos közösség bírálói által is tudományos újdonságként értékelt eredményeket mutat be az értekezés.

2. A doktori értekezés, és a tézisfüzetek formai bírálata

A dolgozat nyomtatott változatának külső megjelenése megfelel a doktori szabályzatban leírt formai követelményeknek. Az értekezés terjedelme 102 oldal, a lényegi rész a tézispontokig 81 oldal. Alapvetően a dolgozat szerkezeti felépítése, tagoltsága is megfelelő, azonban sajnos az értekezésben bemutatott munka szintézise nem valósult meg. Ez abban jelenik meg, hogy a jelölt nem tudott elszakadni az értekezés alapjául szolgáló közlemények szerkezetétől. Például a szilíciumra vonatkozó ellipszométeres vizsgálatok irodalmi előzményei az eredményeket tartalmazó fejezetek bevezetéseiben találhatók szétszórva, ezért nem nyújtanak egy átfogó képet e tudományterület fejlődéséről, jelenlegi állapotáról. Ugyanez vonatkozik a mintakészítési és a nem-ellipszometriai vizsgálatok leírására is. Emiatt felesleges ismétlések is megjelennek a dolgozatban, mint például a transzmissziós elektronmikroszkópos (6.3.2. és 7.3.1 alfejezetek) és röntgen-diffrakciós (6.3.1 és 7.3.2 alfejezetek) vizsgálatok leírásai.

A tézisfüzet formátuma követi az előírásokat. Rövid összefoglalást ad az ellipszometria előzményeiről, a célkitűzésekről, amiből kiderül, hogy főleg az ellipszometriai mérés kiértékelésére helyezi a szerző a súlyt. A vizsgált mintatípusok ismertetése után tézispontokba foglalja az új tudományos eredményeket. Ezt követi a szerző publikációinak jegyzéke, kiemelve a dolgozat témájához kapcsolódó közleményeket.

A szakkifejezések használata a kivonat szövegében egységes és megfelelő. A kivonat terjedelme (szóközök nélkül) nem haladja meg a 2500 karaktert. A kivonat tartalmazza a kutatómunka röviden megfogalmazott célját, tárgyát, és a kutatás során vizsgált 3 mintatípus

ismertetését. Az angol és német nyelven írt kivonat terjedelme megfelel szabályzatban előírt 8-10 sor hosszúságnak. Az idegen-nyelvű kivonatokban a főleg a kitűzött célok jelennek meg. Az angol és német nyelven írt kivonatok nyelvi helyessége pár betűhibától eltekintve megfelelő, a szerző az angol és német szakkifejezéseket helyesen használta. A doktori értekezés igényes szakmai és tudományos nyelvezettel íródott. Néhol nehéz olvasni az értekezést. Bár nyelvtanilag helyesek a mondatai, azok több esetben túl hosszúak, összetettek, bonyolult szerkezetűek.

3. A doktori értekezés általános bírálata

A szakirodalom feldolgozásának színvonala:

A kutatási témával összefüggő tudományos előzmények ismertetése az 5., 6. és 7 fejezetek bevezetéseiben történt meg. Így a szilícium vékonyrétegek ellipszometriai mérésének és kiértékelésének átfogó és kritikai feldolgozása elmaradt.

A kutatási célok megfogalmazása:

A kutatási célok legmarkánsabban a magyar nyelvű kivonatban jelennek meg. A dolgozatban külön nincsenek megfogalmazva és kiemelve a célkitűzések, az eredményeket bemutató fejezetek bevezetéseiben többé-kevésbé indirekt módon jelentek meg.

A kísérleti módszerek ismertetése korszerűsége, helyes alkalmazása:

A szerző a dolgozat 2. fejezetében az ellipszometria alapjainak elméletét és módszertanát ismerteti. Az elméleti alapok ilyen részletes ismertetése talán nem lenne szükséges, hiszen erről pl. a hivatkozott Fujiwara könyvben is részletes és alapos leírást találhatunk. Tekintettel azonban arra, hogy az alapvető anyagvizsgálatokhoz képest (pl. mikroszkópia vagy diffrakciós módszerek) az ellipszometriát nem alkalmazzák olyan széles körben, nagy valószínűséggel előfordulhat az, hogy az ellipszometriában kevésbé jártas olvasók is olvassák majd ezt az értekezést. Így az elméleti alapok, a legfőbb ellipszometriai mérési és kiértékelési eljárások ismertetésének helye van az értekezésben.

A kutatási eredmények feldolgozásának színvonala:

Az ellipszometriai mérés elvégzése a korszerű és automatizált mérést is lehetővé tévő spektroszkópiai ellipszométer használatával nem jelent nagy kihívást. A kapott eredmények, amelyek az ellipszometriai szögek, vagy a Mueller mátrix elemei, önmagukban nem adják vissza a minta fizikai jellemzőit. A réteg vagy rétegszerkezet vastagságát és optikai adatait a mérések kiértékelésével lehet megkapni. A dolgozat erőssége itt mutatkozik meg: a szerző a megfelelő megközelítéssel, a megfelelő sorrendben alkalmazza az ellipszometriai modellezés módszereit. Ismeri a modellezés buktatóit, és matematikai megoldást is ad a sokparaméteres modellek gyors és elegáns kiértékelésére, amellyel a valós jellemzők nagy biztonsággal meghatározhatók.

Az eredményekből levont következtetések helytállósága:

Az ellipszometriai kiértékelés által adott eredmények matematikai számítások által adott eredmények. Ezek kritikus elemzése és az eredmények relevanciájának megadása minden mérésiértékelés után megtörtént. A következtetések az esetek nagy részében teljesen megállják a helyüket. Azon következtetésekre még visszatérek, amelyek pontosságával kapcsolatban kétségeim merültek fel. A szerző nagyon helyesen az ellipszometriai mérésekből indirekt módon meghatározott fizikai jellemzőket (rétegvastagságok, szemcseméret, stb.) mindig összeveti más vizsgálati módszerek eredményeivel. Ez az összevetés nagyon tanulságos, mert világosan megmutatja az ellipszometriai mérés és kiértékelés lehetőségeit, és korlátait. Ezzel lehetővé vált az, hogy a szilícium rétegszerkezeteken végzett ellipszometriai mérésekre a megfelelő, és korrekt eredményeket adó kiértékelési receptek szülessenek meg. Így további rutinmérések során a többi költséges, a minták esetleges tönkretételével, megsemmisülésével járó mérési technikák kiválthatók.

A saját eredmények diszkussziója, irodalommal való összevetése:

Külön diszkusszió a dolgozatban nem található. A 4. fejezetben leírt ellipszometria iterációs kiértékelési technika kipróbálása során a szerző figyelembe vette az MDF modell kristályos és nanokristályos szerkezetekre alkalmazásának irodalmi eredményeit. A további fejezetekben, saját mérések kiértékeléseinek eredményeivel együtt jelenik meg a diszkusszió, és mások által publikált eredmények összevetése a saját tapasztalatokkal. Az irodalomjegyzék 96 hivatkozást tartalmaz. Bár ezen irodalmi előzmények összefoglalása nem jelenik meg külön fejezetben, az eredményeket és a diszkussziókat tartalmazó fejezetekben az irodalmi hivatkozások megjelenése meggyőzi az olvasót arról, hogy a szerző jól ismeri a nemzetközi irodalmat, és el is igazodik benne. Az irodalmi előzmények hiánya mellett megemlítem a dolgozatban bemutatott eredmények összevetését, az általános tapasztalatok levonását tartalmazó diszkusszió hiányát. Mivel az 5., 6. és 7. fejezetek mind szilícium rétegek ellipszometria vizsgálatáról szólnak ezt könnyen meg lehetett volna tenni. Itt is azt éreztem, hogy a szerző nem tudott kellően elszakadni a publikált cikkek szerkezetétől, és megadni a PhD értekezés szintézisét.

Az új tudományos eredmények értékelése

A jelölt tézispontokban felsorolt eredményeit mind új eredménynek ismerem el.

1. Számítógépes kiértékelési eljárást dolgozott ki, és valósított meg sok-paraméterű ellipszometria kiértékelés megvalósítására. Ezt olyan kiemelkedő és fontos eredménynek tartom, ami az ellipszometriával foglalkozó kutatók érdeklődésére is számot tart.
2. Porózus szilícium szerkezetének mélységbeli változásának követésére dolgozott ki effektív közeg módszeren alapuló ellipszometria kiértékelést.
3. Sikeresen alkalmazta a Johs-Herzinger féle modellt porózus szilícium dielektromos függvényének leírására.
4. Megmutatta, hogy 10 rétegpárból álló Si-SiO₂ szuperrács ellipszometria mérései kiértékelhetők a rétegpáraméterek megfelelő csatolásával. A modell megfelelően leírta a hőkezelés hatásait.
5. Megállapította, hogy az oxidált felületű, különböző méretű szilícium nanorészecskéket tartalmazó rétegek leírhatók az effektív közeg közelítéssel. A nanokristályos / egykristályos fázisok arányaiból meghatározta a nanokristályosság mértékét.
6. A szerző által kidolgozott számítógépes eljárással sikeresen meghatározta nanokristályos szilícium rétegek dielektromos függvényét megadó Adachi-féle paramétereket.

4. A doktori értekezés részletes tartalmi bírálata

A következőkben az apróbb bírálói észrevételeimet ismertetem, ezeket a védésen nem fogom felolvasni, és a megválaszolását sem kérem a szerzőtől. Természetesen reagálhat ezekre a megjegyzésekre is akár írásos válaszban, akár szóban a védésen.

- Német kivonat: Dünnschichtstrukturen, Halbleiternanostrukturen. Helyesen: Dünnschichtstrukturen, Halbleiternanostrukturen.
- 9. oldal, 14. sor: felesleges vessző a "különböző" szó után. 22. sor: a vákuum ultraibolya rövidítése VUV, távoli infravörös: FIR. Megtévesztő, hogy csak az UV és IR rövidítések szerepelnek.
- 10. oldal, 2. sor: "Így, túl azon, hogy egy vékonyrétegekből felépülő minta rétegeinek vastagságát és törésmutatóját meghatározzuk..." A komplex törésmutatót határozzuk meg, vagy úgy is írható, hogy "vastagságát, törésmutatóját és extinkciós együtthatóját meghatározzuk..."
- 10. oldal, 19-20 sor: "A széles körű alkalmazási területeknek és a bőséges elméleti háttértudásnak köszönhetően esett a választás erre az anyagra." Nem világos kinek a választásáról van szó a mondatban, hiszen a korábbi mondatok a félvezetőiparról

- szólnak. Talán világosabb lett volna úgy írni: "A széles körű alkalmazási területeknek és a bőséges elméleti háttértudásnak köszönhetően esett a választásom erre az anyagra."
- 11. oldal, 14 sor: "Fotonika osztály" -> "Fotonika Osztály"
 - 12. oldal első bekezdése szinte szó szerint megegyezik a 9. oldal második bekezdésével.
 - 13. oldal, 2. bekezdés: „Továbbá, aki még mélyebben el kíván mélyedni...” - fogalmazási hiba.
 - 13. oldaltól kezdődően: Maxwell-egyenletek mindenhol kötőjel nélkül szerepelnek a szövegben (később hasonlóan a Fresnel-egyenletek).
 - 14. oldal: utolsó előtti 2. sorban úgynevezett rövidítése „ún.”, nem „un.”. Ugyanitt és az utolsó sorban is hiányzik a mondat végi pont.
 - 15. oldal 7. sor: „mely komponenseket ki tudjuk fejezni az útjuk során végbement törésekre és visszaverődésekre vonatkozó Fresnel-együtthatókkal...”
 - 18. oldal 2.12 képlet: Érdemes lett volna E_x -et és E_y -t képlettel definiálni, hogy látszon komplex mivoltuk. (A 2.4 ábrán mutatott E_x és E_y vektorokról nem látszik, hogy komplexek lennének.)
 - 22. oldal 4. sortól nem világos a fogalmazás: "az atomi polarizáció rezgése ... eltűnik a spektrumban", szintűgy: "Ha tovább növeljük a megvilágító fény frekvenciáját, akkor már az elektronos polarizáció sem képes azt lekövetni, így az is eltűnik a spektrumban". Milyen spektrumban? "A dielektromos függvény legkarakterisztikusabb tulajdonsága, hogy képzetes része arányos a csatolt állapotosság". A csatolt állapotosságot nem definiálta. 2. bekezdésben nem helyes a többes szám használata: "Számos egyéb oszcillátor-függvények", "... több különböző anyagból, fázisokból felépülő keverék"
 - 23. oldal: A Cauchy-modell bevezetésénél érdemes lett volna felhívni rá a figyelmet, hogy ez nem KK-konzisztens modell. A (2.23) képletben szereplő E paramétert nem definiálta, pedig fontos lenne, mert az előző bekezdésben E még egy Cauchy paramétert jelentett. Szintűgy hiányzik σ_j , P és A_j szövegbeli megadása.
 - 25. oldal: a 2.6 ábra és az alatta lévő szöveg nem áll teljes összhangban: B -t nem mutatja az ábra. Az ábrán az $A_L=A(1+Disc)$ felirat hibás.
 - 27. oldal: a 2.9 ábra alatti leírást érdemes lett volna bővíteni, mert így az ábra nehezen értelmezhető. Az ábra alatt a szövegben névelőhiba van: "Az sávszerkezetében..."
 - 30. oldal 2.41 képlet: A második tényezőben kicsi elírás (ϵ_{eff} helyett ϵ_{ef}).
 - 33. oldal 2. bekezdés betűhiba: "fókuszálló"
 - 35. oldal 4.-6. sorok: "A munkám során szilícium alapú vékonyrétegszerkezetekkel foglalkoztam, ahol az adott szerkezet és az azon mért optikai tulajdonság közti összefüggéseket tanulmányoztam." egyes és többes számok egyeztetése szükséges. Utolsó előtti sor: vessző hiányzik az illetve szó előtt.
 - 37. oldal: file-okban, file-ok; ezeket írhatjuk magyarul: fájlokban, fájlok
 - 44. oldal 3. sor: fura megfogalmazás "A mintakészítéskor arra törekedtünk, hogy különböző szerkezetű és porozitású mintákat állítsanak elő,..." ábra alatti bekezdés: "IMEL által véztett" -> "IMEL által végzett", a cm^2 -nél felső index kellett volna. Az oldal utolsó 3 sorában szereplő mondat megegyezik a 43. oldal 9. sorában kezdődő mondattal.
 - 45. oldal 5.3.1 fejezet 4. sorában $e=1$ szerepel $\epsilon=1$ helyett. Az 5.2 ábrán a szövegszerkesztő programból megmaradtak a piros aláhúzások.
 - 49. oldal: a 5.7 ábra Δ eltérés $^\circ$ skálája bizonyra hibás. A 20° -os eltérés irreális.
 - 53. oldal 5.10 ábra: Az 1. zöld görbe milyen polinom? Miért nem síma?
 - 54. oldal Összegzés: A fejezetben nem történt meg az ellipszometriai eredmények TEM eredményekkel történő összevetése. Így az utolsó állítás csak esetleges: az ellipszometria képes lehet a szemcseméretéről információt szolgáltatni.

- 56. oldal alulról a 6. sor: a "gázfolyam" helyett a "gázáram" használandó. Alulról a 3. sor: "ahol az 1 cm^3 azt a gázmennyiséget jelöli, mely 1 cm^3 -ben 1 atmoszféra, és $20\text{ }^\circ\text{C}$ mellett megtalálható); a cm^3 térfogatot jelöl, nem gázmennyiséget. A fogalmazás nehézkes. Az utolsó sorban szerencsésebb lett volna rögtön az SI Pa-ban mért értéket megadni.
- 57. oldal, 2. sor: "33 nm/perc" és a "22 nm/min" egységek közül a magyar nm/perc leírásra szavazok. A 6.3.1 fejezet címe: Röntgendiffrakciós eredmények. A következő sorban már külön van írva a két szó: röntgen diffrakciós mérések. A röntgendiffrakció szó egybeírandó. Utolsó sor: a "közel érintő beesési szögű röntgen diffrakciós mérés"-t kisszögű röntgendiffrakciós mérésnek nevezik.
- 60. oldal, alulról a 3. sorban elírás: legkézzenfekvőbb
- 65. oldal, 2. bekezdésben vessző hiányzik a "szemcseméretű" szó után.
- 66-67. oldal, a 7. táblázat 5 mintát ad meg, a 7.1 ábra pedig hatot mutat. Melyik ábra melyik mintának felel meg?
- 68. oldal. A 7.3.2 alfejezet gyakorlatilag megismétli a 6.3.1 alfejezetet kis változtatással.
- 70. oldal 7.5 ábra szövege piros aláhúzással jelenik meg.
- 72. oldal: A Cauchy-modell B és C paraméterének van mértékegysége. Az alsó két sorban hivatkozik a leválasztási időkre. Ezek értékei nincsenek a dolgozatban megadva.
- 74. oldal: a 7.7 ábra első pontjához a nanokristályosság értékét nincs értelme feltüntetni. A modellezési hibát a szerző később megfelelően értelmezi is az oldal alján. Ha mégis fel van tüntetve a hibás érték a grafikonon, azt célszerű külön szimbólummal jelezni, és a többi ponttal nem szabad összekötni. Az ábraszövegben is jelezni kell, hogy a modellezés eredményeképp adódott pont nem valós fizikai eredmény.
- 77. oldal 7.10-es ábrájára nincs utalás a szövegben. A 7.11 ábra stílusa különbözik az eddigi ábrákétól (pontosított vonal)
- 79. oldal grafikonjairól az elsőt kivéve szerintem nem érdemes messzemenő következtetéseket levonni a nagy hibák miatt.
- 84. oldal: Theses 9. sor: usefull; 21. sor: polinom
- 96. oldal, jelölések: amorf szilícium fázis esetén s-Si bizonyosan elírás
- 100. oldal: Az utolsó sorokban hivatkozott 2.53-as összefüggést nem találtam a szövegben.

A következőkben azokat a kérdéseimet megjegyzéseimet írom le, amelyekre a védésen választ kérek a szerzőtől.

- 20. oldal: 2.20-as képletben ε_0 mit jelöl? Hogyan oldaná fel azt a dolgozatban megjelenő nyelvi kettősséget, hogy a polarizáció szó jelenti a fény polarizációját és az anyagban a dipólusok által keltett dipólmomentumot is?
- 31. oldal: a point-by-point módszer leírásánál hiányolom a módszer alkalmazhatóságának mélyebb diszkusszióját. Milyen pontossággal kell rögzíteni a nem illesztett paramétereket, hogy a point-by-point módszer alkalmazható legyen?
- 41. oldal: A 4. fejezet összegzésben szó esik a paraméterek csatolásáról, amelyről korábban nem volt említés. Itt érdemes lett volna a 7.6 fejezetre előreutalni. A fizikai modell értelmének megsértése nélkül mely paramétereket szabad csatolni és melyeket nem?
- 49. oldal: Ahogy a szerző a téziszüzetben is kiemeli: "A félvezetőiparban használt legismertebb és legelterjedtebb félvezető anyag a szilícium. Tulajdonságai közül kiemelendő, hogy szobalevegőn stabil oxid (azaz szigetelő) réteg képződik a felületén." Miért történik az illesztés csak c-Si és üreg komponensre? Miért nem kell figyelembe venni a SiO_2 komponenst? A 3. táblázatban a PS160 minta esetén a 3. réteg

vastagságában nagy a hiba. Másrésről a szerző a 3. réteg vastagságát azonosítja a felületi érdességgel, amelynek rétegvastagságát így $\frac{1}{2}$ -es faktorral súlyozva veszi figyelembe. Ez nem helyes, ugyanis a c-Si %-os arányában nincs nagy eltérés a 2. és a 3. réteg között. Csökken-e a 2. és a 3. réteg esetében a hiba, ha a 3. réteget a 2. réteg felületi érdesség rétegeként tekintjük a szokásos értelemben (50% void - 50% réteg) ?

- 50-52. oldalak, 5.5 alfejezet. Meglepett, hogy nem az előző alfejezet 2. rétegére hanem a teljes rétegre alkalmazta a szerző a point by point és a GCP modelleket. A 2., középső, már meghatározott porozitású és vastagságú rétegben a pórusgradiens valószínűleg kisebb, mint a teljes rétegben. A teljes rétegbeli nagyobb gradiens bizonyára nagyobb hibát okoz a point by point és a GCP komponenset tartalmazó optikai modellek kiértékelése során. A 4. táblázatában mire vonatkozik a „c-Si + 70% üreg” címmel ellátott oszlop?
- 68. oldal 7.3 ábra és a hozzá tartozó szöveg: Az NC2 és NC3 minták esetén nem látszik, hogy hogyan lehetett félérték-szélességeket meghatározni a röntgendiffrakciós eredményeket mutató grafikonról. Kérem mutassa be, a Debye-Scherrer-formulát alkalmazva hogyan sikerült a szemcseméretre is következtetni ezekből a röntgendiffrakciós mérésekből.
- 69. oldal 7.4.1 fejezet 7. sor: Miért volt szükséges a 2. Rétegnek nevezett SiO₂ réteg esetén EMA-réteg felépítésére? A 73. oldal 8. táblázatában mutatott eredmények sem támasztják alá ennek szükségességét. Sőt, inkább kerülni kellett volna a negatív térfogatszázalékok előfordulását. Másrésről az MDF-modellben is csak a SiO₂ referencia adatokat használja ennek a rétegnek az illesztésére. Továbbolvasva a 74. oldalon értelmezést ad a szerző az EMA-modell eredményeire. Ezután elegánsabb lenne a helyes modellt is felállítani és bemutatni.
- Kérem fejtse ki részletesebben, esetleg egy megfelelő grafikonon szemléltesse a 71 oldalon található gondolatot: "Mivel amorf anyagokban a kritikus pontok nem értelmezhetőek, ezért az Adachi-féle modellből adódó tiltott sávok nem feleltethetőek meg a Brillouin zóna Bragg sávjainak, de figyelembe vehetőek akkor, amikor a kovalens kötések által keltett rövid távú rend hatását vizsgáljuk."
- 76. oldal: Az eltérő nanokristályosságú minták illesztési eljárása során az érzéketlennek tűnő paramétereket más paraméterekhez csatolta a szerző. Azt írja: "A csatolási állandókat a c-Si dielektromos függvényére illesztett Adachi-féle modell eredményeiből származtattam." Lehet-e a másik oldalról megközelíteni a dolgot, azaz van-e értelme a csatolási állandókat az a-Si dielektromos függvénye alapján meghatározni? A kétfajta megközelítés vajon egyfajta eredményt ad-e az érzékeny paraméterekre?

5. összefoglaló javaslat az értekezés alkalmasságáról a doktori fokozat odaítéléséhez.

A fenti megjegyzéseim és kérdéseim a legtöbb esetben stilisztikára, formai megjelenésre, interpretációra vonatkoznak és nem érintik az értekezésben bemutatott tudományos munka értékét. Az elért eredményeket messzemenően elegendőnek tartom a doktori (PhD) fokozat megadásához. Sikeres védelem esetén a PhD fokozat megítélését feltétlenül javaslom.

Szeged, 2014. október 25.

Dr. Tóth Zsolt
tudományos főmunkatárs
SZTE Fogorvostudományi Kar
Orálbiológiai és Kísérletes Fogorvostudományi Tanszék