

Válasz Dr. Koós Margit

„Szilícium alapú nanokristályos szerkezetek minősítése
spektroszkópai ellipszometriával”

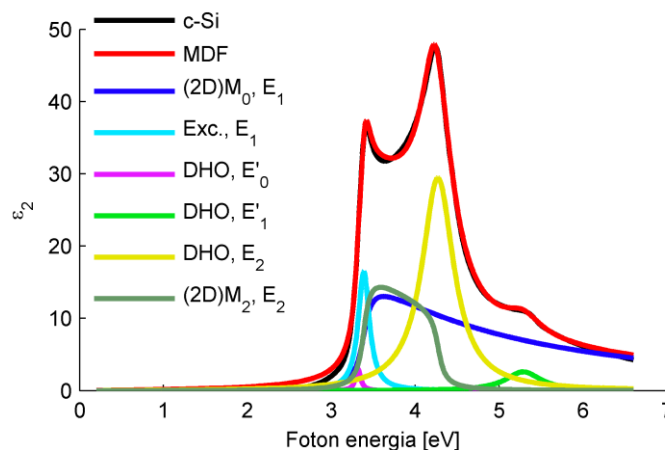
című doktori (Ph.D.) értekezésem bírálata

Köszönöm Koós Margitnak az értekezésem alapos átolvasását és hasznos észrevételeit.

A bírálóban feltett kérdéseire, megjegyzéseire (amelyekre itt dőlt betűvel utalok) a következőket válaszolom:

1. *A dolgozat 4.4 Fejezetében az Adachi által c-Si-re megadott dielektromos függvényt (MDF) illeszti a Woollam cég által a Complete EASE programban megadott referencia c-Si dielektromos függvényre. A dolgozat 40. oldalán megadja a szerző a legjobb illesztéshez tartozó paramétereket, azonban jó lenne látni grafikusán is magának az illesztésnek az eredményét. Ez az 1. Tézispont megerősítése szempontjából fontos lenne, ugyanakkor alátámasztaná a későbbi illesztések a paraméterek felhasználhatóságát.*

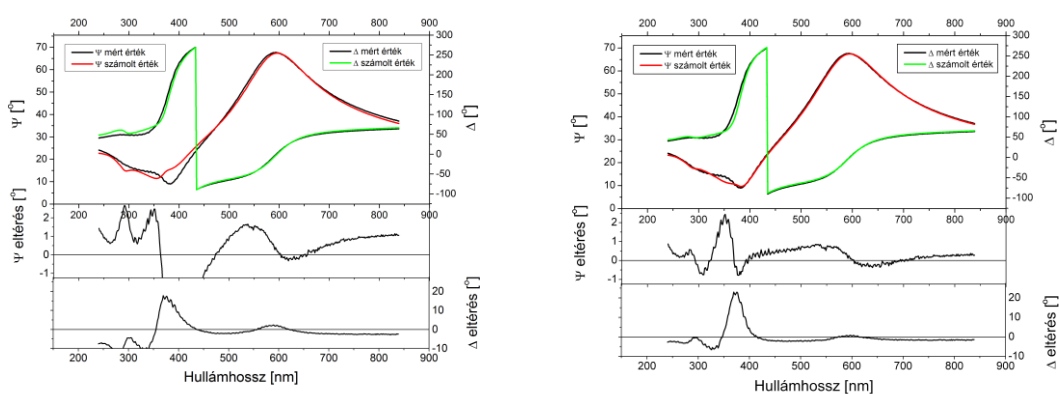
A 4.4 Fejezetben az Adachi által c-Si-re megadott MDF modell referencia c-Si-re való illesztéséről valóban szemléletes lett volna egy ábrát is bemutatni. Ezt az eredményt mutatom be a 2.4.1.3 Fejezetben (2.10 ábra), de a 4.4 fejezetben elmulasztottam hivatkozni rá. Illetve a 2.10 ábra lábjegyzetében se említem, hogy ez egy általam illesztett eredmény, melyről később szó lesz.



2.10. ábra: A c-Si dielektromos függvényre illesztett Adachi-féle MDF modell képzetes részének görbéi.

2. A dolgozat 51. oldalán az alap optikai modellből (5.3 ábra) számolt dielektromos függvény valós és képzetes részei láthatóak pórúszos Si-ra az 5.8 és 5.9 ábrákon, ahol a 30% c-Si és 70% üreg komponens EMA keverékének szimulált spektrumai is láthatóak. Ez utóbbiak a c-Si-re jellemzően, két maximummal bíró függvények és nem mutatnak hasonlóságot az ugyanilyen c-Si és üreg keverékével jellemzett PS 130 minta dielektromos függvényeivel. Ezért felvetődik a kérdés, hogy az 5.2 ábrán megadott 3 réteges EMA modell, ami a c-Si és üreg komponensek keveréke, mennyiben elfogadható?

Az 5.8 és 5.9 ábrák mind a modell (5.3 ábra) hitelességét/alkalmazhatóságát, mind a modellen keresztül a minta optikai tulajdonságát hivatottak szemléltetni. Ahogy a bíráló is megjegyezte, a hivatkozott ábrákon is látható, referencia c-Si és üreg keverékéből előállított egyréteges modell nem megfelelő ezeknek a mintáknak a leírására. A minták által mutatott effektív törésmutatók ettől lényegesen eltérnek, melyet döntően a mélységbeni inhomogenitásuknak tulajdoníthatunk. Különösen igaz ez a PS130-as mintára. Viszont a görbék lefutása, szerkezettől függetlenül, 1.4 eV-tól kb 3 eV-ig nagyon hasonló, mely az illesztett spektrum (240 nm – 840 nm) döntő részét lefedi (410 nm – 840 nm) (1. ábra). Mivel ebben a hullámhossztartományban az elnyelődés is alacsony, döntően ez a tartomány hordozza a minta mélyebb rétegeiről az információt. Így a modellre kapott rétegvastagság és üreg térfogatszázalék várhatóan közel áll a valódi értékekhez. A 3 réteges EMA modellre ugyanez az állítás igaz marad.



1. ábra: Ps130-as mintán mért ellipszometriai szögek spektrumai és a rá illesztett egyrétegű (bal ábra) és háromrétegű (jobb ábra) EMA modell görbéje a hullámhossz függvényében. Alul az illesztett modell eltérése látható ψ és Δ szögben.

3. *A dolgozat 59. oldalán található 6.2 ábrán az SRO/SiO₂ minták kisszögű Röntgen diffrakciós spektrumai vannak megadva a hőkezelés függvényében. Jól látható, hogy a kristályos Si 1000°C hőkezelésnél kezd kialakulni. A 63. oldalon a réteg összetételét mutató 6. Táblázatban az nc-Si komponens már 600°C hőkezelésnél megjelenik az optikai modell második rétegében. Mi ennek a magyarázata?*

Az alacsony hőmérsékleten (600°C-tól 925°C-ig) hőkezelt mintákra kapott kb 11-13 térfogatszázalék nc-Si komponens számomra azt mutatja, hogy a CVD technikával növesztett minták SRO rétegeiben a többlet szilícium már nem teljesen amorf fázisban van jelen. A dielektromos függvény megváltozásában feltételezhetően nagy érzékenységgel megjelenik már a rövid távú rend is a szilícium fázisban, ami esetleg a kisszögű röntgendiffrakciós mérésben nem jelenik meg kristályos fázisként.

4. *Az oszlopos szerkezetű nanokristályos vékonyrétegek optikai modellje (69. oldal 7.4 ábra) nc-Si mellett c-Si-t is tartalmaz. A 7.2 ábrán (68. oldal) látható nagy felbontású transzmissziós elektronmikroszkópos felvétel a nanokristályos szilíciumon kívül amorf szerkezetet mutat. Mi indokolja az optikai modell c-Si komponensét?*

Az oszlopos szerkezetű nanokristályos vékonyrétegekről készített nagyfelbontású transzmissziós felvételeken valóban látni amorf szerkezetet, de az feltehetőleg a mintapreparációhoz felhasznált ragasztóból ered. Továbbá az ionsugaras vékonyításkor óhatatlanul fellép a felületi amorfizáció, így ezeknek a felvételeknek az értelmezésekor ezeket is figyelembe kell venni. Az ellipszometriai spektrumok kiértékelésekor különböző optikai modelleket vizsgáltam, többek közt olyanokat, melyek amorf fázisú szilícium komponens is tartalmaznak az oszlopos szerkezet leírására. Az nc-Si és c-Si komponensek alkalmazásával kaptam a legjobb illesztéseket, így ezt mutattam be a dolgozatban. A c-Si komponens használatát az indokolta, hogy feltehetőleg több nanométer átmérőjű szemcsék is jelen vannak a mintában, és azok optikai tulajdonsága közelebb áll a c-Si referenciához.

Az 1. Tézisben az utolsó mondat elhagyását javaslom, mivel az implicite azt tartalmazza, hogy elég szélesre választva a paraméterek értelmezési tartományát még „bizonytalan információk” alapján is az illesztésből jó eredményt kapunk. Véleményem szerint először jó mérési eredmények kellenek. A 3.

Tézispontban az „elsőként” szó elhagyását javaslom. A kifejezés szakmabeli értéke nem vetekszik a „felfedeztem” kifejezésével, ugyanakkor nehezen ellenőrizhető.

Az 1. Tézispont utolsó mondatának elhagyását elfogadom. Természetesen az adott rétegszerkezetről elengedhetetlen bizonyos mértékű információk birtokában lenni ahhoz, hogy optikai modellt alkothassunk, és kiértékeljük azt. Ezzel a mondattal azt akartam kifejezni, hogy a már meglévő optikai modell tartalmazhat olyan szabad paramétert, melyet nehéz behatárolni, viszont a szélesre vett értelmezési tartomány alaposabb rácskeresést, így hosszabb futtatási időt igényel. Ilyen esetekben is előrelépést mutat az általam fejlesztett algoritmus.

A 3. Tézispontban bemutatott eredményeket az irodalomra vonatkozó ismereteim szerint elsőként végeztem el, de egyetértek azzal, hogy ez egy nehezen ellenőrizhető állítás, ezért elfogadom az „elsőként” szó elhagyását.

Még egyszer köszönöm Koós Margitnak az értekezésem alapos átolvasását és hasznos észrevételeit.

Budapest, 2014. 11. 06.

Agócs Emil