

VÁLASZ OPPONENSI VÉLEMÉNYRE

OPPONENS:

Dr. Nemcsics Ákos, DSc

Egyetemi tanár

DOKTORI DOLGOZAT CÍME:

Rendezett cellulóz nanokristályokból felépülő vékony filmek

SZERZŐ:

Csóka Levente (2017)

Tisztelt Professzor Úr!

Köszönettel vettem opponensi véleményét és külön öröm számomra, hogy az energiahatékony technológiák és félvezetők, napelemek fejlesztése terén nemzetközi elismertséggel rendelkező szakembertől kaptam pozitív véleményt. Kritikai és általános észrevételeire, a bírálatban megfogalmazott kérdéseire lehetőség szerint a véleményben megfogalmazott sorrendben adnám meg a válaszokat az alábbiak szerint.

A bírálat általános bevezetője után a Bírálóm kijelenti, hogy a legszembetűnőbb probléma a dolgozattal, hogy a cím túl általános és nem fejezi ki a dolgozat tartalmát. A dolgozat angol nyelven íródott, így elképzelhető, hogy a magyar fordítás nem pontosan azt fejezi ki, mint amit az angol címmel jelezni szerettem volna. A Bírálóm azonban jól foglalta össze a munka célját és tartalmát, amelyet a dolgozat elolvasása után összegzett a címmel kapcsolatban. Ugyan akkor a 'rétegleválasztás' kifejezéssel nem tudok maradéktalanul egyet érteni, mivel a dolgozatban bemutatott vékony filmek diszkrét kristályokból, kolloidból épülnek fel és nem rétegleválasztás eljárással készültek.

A dolgozat olvasása és értékelése során Nemcsics professzor hiányolja, hogy a dolgozathoz csak sejteni lehet, melyik rész, melyik tézisnek felel meg. A dolgozat második fejezetének összefoglaló részében a 44. oldalon találhatóak a Bírálóm által hiányolt tézisek, szám szerint 4 darab, külön ki lettek gyűjtve és összegezve. Ugyan így a harmadik fejezetben a 68. oldalon szintén 4 tézis szerepel, és a negyedik fejezethez kapcsolódóan a 92. és 93. oldalon folytatólagosan szintén megtalálható a kapcsolódó tézis, igaz itt már nem pontokba szedve, de ebből a fejezetből 1 tézist fogalmaztam csak meg. Szerencsésebb lehetett volna a téziseket folytatólagosan számoznom, hogy a dolgozat végén található összefoglalással szorosabb kapcsolatot teremthessek. A téziszfüzet valóban nem segít kapcsolatot teremteni a tézisekkel, sajnálom, hogy a fordítás a minőségi összeállítás rovására ment.

Nemcsics professzor bírálatában a dolgozat másik komoly hiányosságát a nem egységes szerkesztésben látja. Itt nemcsak a különböző képletek azonos betűjelzéseire és az egyes fejezetek saját irodalomjegyzékének különböző szintaktikájára gondol. Elismerem, hogy az egyenletek, képletek betűjelzései az egyes fejezetekben nem egységes, az adott környezet határozta meg a használt jelöléseket.

A Bírálom megjegyzi, hogy az atomerő-mikroszkópos mérések a második fejezetben szerepelnek, de a mérés technika bemutatása csak a 4. fejezetben szerepel. Itt szeretném kiemelni, hogy a második fejezetben a 19. és 20. oldalon megfelelő mélységben és alaposan már leírom a kapcsolódó atomerő mikroszkópos mérés technika jellemzőit, amellyel a fejezetben készült képek készültek. Mindhárom lényegi fejezetem tartalmaz atomerő-mikroszkópos mérés technikát, mindhárom esetben más céllal és az elméleti munka alátámasztására, kiegészítésére alkalmaztam az eljárást.

Az összefoglaló jelölés és rövidítés jegyzék hiányosságát elismerem, mellyel a dolgozat olvasása könnyebben érthető lehetett volna.

A 2.2 anyag és módszerek fejezetben a mica – csillámpala, mint hordozó valóban nem kellő mélységgel lett kifejtve, a 'clean, pristine' szavakkal próbáltam jelezni, hogy a csillámpala felhasználás előtti hasításával molekulárisan tiszta szilikát felületet kaphatunk. A csillámpala fajtái, illetve a hasítással nyert felületek optimalizálása nem volt célja a dolgozatnak, korábbi kísérletek eredményeit elfogadva választottam ezt az anyagot hordozóként, amely a mérések során nem okozott említésre méltó eltéréseket. Olyan helyeken alkalmaztam csak hordozóként, ahol nem a vékonyréteg vastagságát vagy felületi egyenetlenségét vizsgáltam, hanem például az elektromos térben való rendezettség mértékét vizsgáltam csak. Köszönöm azonban az ezzel kapcsolatos megjegyzéseit a Bírálómnak, későbbi munkáim során fel fogom használni.

Nemcsics professzor hiányolja a 2.2 és 2.3 ábrán található Clausius-Mossotti faktor valós és képzetes részek bemutatásához használt képletek és egyenletek betűinek magyarázatát. Újra átolvasva a dolgozatot és a 2.1-től 2.9-es egyenletek jelentését tanulmányozva, a hiányolt betűk értelmezése és a változók a 21-23. oldalon találhatóak, a számolás során használt paraméter értékek a 18. és 19. oldalakon kerültek bemutatásra, valamint megtalálhatóak a 23. oldalon hivatkozott 40-es számú referenciában: Salama és társai 2004 munkájában. A komplex kifejezés megoldásához mért értékeket (18. oldal) és tervezett értékeket használtam a 19. oldalon részletezetteknek megfelelően.

A 2.3-as ábrával kapcsolatban a bírálóm problémásnak találja a frekvencia leolvasását az ábráról. A 2.3-as ábra vízszintes tengelye mutatja a frekvencia változását és valóban, a logaritmus skálán a 100-as és 1000-es értékek között nem tüntettem fel osztásokat, a szövegben hivatkozott értékeket a számolás során tapasztaltak alapján és interpolálás eredményeként írtam le. Ezek pótlását a későbbiekben szem előtt fogom tartani és jobban értelmezhető ábrákat fogok készíteni. A számolásokat közvetlenül nem hasonlítottam össze mérésekkel, csak közvetett módon a későbbiek tárgyalása során.

A Bírálom a 29. oldalon tárgyalt film homogenitással kapcsolatos megjegyzéseire a következőket szeretném válaszolni. A film homogenitása a cellulóz nanokristályok folytonosságára és rendezettségére utalt a csillámpala hordozón, ezáltal a bemutatott AFM képek mindegyike homogén, folytonos anyagszerkezetet mutat, de eltérő anizotróp rendezettséget. A homogenitást én ebben az összefüggésben értelmeztem a dolgozatban. Ezt a dolgot 28. oldal utolsó mondatában találhatjuk. A bemutatott frekvenciafüggő modellben nem kell figyelembe venni a réteg felületi durvaságát és porozitását sem. Ezekkel kapcsolatban nem közöltem értékeket a dolgozatban. A cellulóz nanokristályos vékony filmet a csillámpala hordozón konvektív nyíróerő módszere alapján hoztam létre a kolloidból, így ha a hordozónak volt is molekuláris szintű egyenetlensége, a bemutatott módszer nem volt érzékeny a változására. A nanokristályok rendezettsége így csak az alkalmazott elektromos térerő amplitúdójától és az elektromos térerő frekvenciájától függött. A másik felvetett probléma, hogy a számításnál nem lehet homogén cellulózzal számolni helytálló, hiszen a modell a 2.3-as egyenletben figyelembe veszi a cellulóz és azt őt körülvevő közeg, a víz permittivitását is. Az ellipszometriás vizsgálatnál nem volt fontos a törésmutató és alkalmazott hullámhossz, mivel a vizsgálat csak a két közeg a cellulóz és alatta a csillámpala határréteg felületéig történt. A vizsgálatot azon a ponton végeztem, ahol később az AFM képeket készítettem, korábbi mérések és szerzők optimalizálták a cellulóz nanokristályokból felépülő vékony filmek ellipszometriás vastagsági méréseit. A dolgozatban erre valóban nem tértem ki, köszönöm az észrevételt. A mérés során alkalmazott elektromos térerő frekvenciája és ellipszometriás vastagság mért értékei között nem végeztem összehasonlító számításokat, így a kérdésre a vizsgálatok hiánya miatt nem tudok válaszolni. Ez a mérés nem volt azonban célja a dolgozatomnak.

A 2.5 és 2.8 AFM-es ábrák valóban nem túl élesek, de biológiai eredetű mintákról nagyon nehéz tiszta és éles képet kapni, még pásztázó elektron mikroszkóppal sem mindig sikerül, felületi borítás, aranyozás nélkül. A kérdéses ábrákról hiányoznak a színkódok mivel a cellulóz nanokristályok rendezettség mértékét szerettem volna bemutatni velük és nem a magasságbeli változásokat. Erre számos tanulmányt találhatunk, de a kutatócsoportunk is foglalkozott vele behatóan, melyet Hoeger és mtársaival 2011-ben a *Soft Matter*-ben publikáltunk. A dolgozatban a második fejezet 13-as számú hivatkozása jelenti ezt a munkát. A 2.4 ábra elektromos térerő nélkül készült AFM képeket mutat csillámpala hordozón, PEI monoréteg kialakításával és nélküle. Itt pontosan azt a rendezetlenséget szerettem volna bemutatni, amire a Bíráló tért ki a bírálatában. Ennek a fejezetnek a bevezetőjében írtam, hogy a csillámpala bár molekulárisan tiszta felületnek tekinthető hasítás után, negatív töltése nem kedvezett a konvektív nyíróerő által létrehozott filmkészítésnek. Ezt kiküszöbölendő alkalmaztam PEI rétegborítást a csillámpalán, de még ez sem hozta meg azt a várt rendezettséget a nanokristályoknál, amelyet csak az elektromos térerővel sikerült elérni. Az irányítottság mértéke minden esetben %-ban lett kifejezve, előtte a fokban megadott érték azt a tartományt jelölte ki, amelyikben a rendezettséget mennyiségi mutatóval %-ban határoztam meg. A dolgozat 32. oldalán használt theta írásjelet minden esetben kisbetűvel jeleztem, a 2.11-es egyenlet magyarázatában használt theta jel szimbólumként lett

értelmezve ugyan úgy, mint a dolgozat 75. oldal 4.1-es egyenletében használt theta szimbólum és nem a kicsi vagy nagybetű keveredése miatt került bele a dolgozatba, de köszönöm, hogy a Bíráló felhívta a figyelmem ennek egységesítésére. Az AFM ábrákon látható mintázatot a dolgozat 19. oldalán leírt MATLAB kód segítségével értelmeztem. A kód segítségével nem csak a rendezettség mérését, de előzetes szűrést is elvégeztem, így a bemutatott ábrák éles kontúrjainak a hiánya nem befolyásolta a cellulóz nanokristályok hossztengeleének és rendezettségének a meghatározását. A 2.4 *a* és *b* ábrákon feltüntetett nyíl a filmképzés irányát szemlélteti és ehhez az irányhoz képest lett meghatározva %-os arányban, hogy a cellulóz nanokristályok hossztengele milyen mértékben követik ezt az irányt max. 20 fokos eltéréssel. Több mint 300 nanokristály mérésének átlaga lett közölve a dolgozatban, a létrehozott vékonyfilm több különböző pontjáról készítve felvételeket (a leírás a 19. oldalon található!). A 2.10 *b* ábrán mikrofluidikai eszközt lehet látni (ugyan az az eszköz, mint a 2.10 *a* ábrán), amint az elektródákat rákötöttük a nyomtatott áramkör lemezén kialakított csatlakozási pontokhoz, középen a cellulóz nanokristály kolloiddal. A kép egy egyszerűbb eszközzel készült, élességén lehetett volna javítani, elismerem. A 2.11-es ábra leírása a 39. oldalon található. Az ábrán a korábban bemutatott mikrofluidikai eszköz pásztázó-elektronmikroszkópos és AFM képe látható. A 'metal lines' felirat a réz elektródákat jelenti, az AFM kép a mikrocsatornában a rendezett cellulóz nanokristályokról készült. Az eszköz demonstrációs céllal készült, hogy bizonyíthassam, hogy a cellulóz nanokristályok követik a nDEP erőket elektromos tér alkalmazása esetén és rendeződnek a kialakított csatornában.

A 2.5 fejezetben hiányolt piezoelektromos tenzor $e_{14}=e_{25}$ elemét a 48. oldalon fejtem ki bőven és hivatkozok Fukada 1955-ös munkájára az értelmezésében. Ebben a fejezetben (2.5) a kvantummechanikai számításokat szerettem volna leírni, mivel a cellulóz nanokristályok polarizációját már a 2-es fejezet elejétől bevezettem és számoltam a Clausius-Mossotti elmélettel nanoszinten, itt a kvantummechanikai számításokkal viszont sub nanoszinten szerettem volna megtenni, elemi cellobióz monomeren. Így a kvantummechanikai folytatás a 2-es fejezethez, véleményem szerint konzisztensen kapcsolódik. A Berry Phase számolása elengedhetetlen az elemi kristály cellába rendezett atomok polarizációjának a kalkulációja során. Ezt Vanderbilt és Resta fejlesztette ki az elméletében a '90-es évek elején, majd fejlesztették tovább 2003-ban. Erről a 40. oldalon írtam és hivatkoztam a munkájukra, az elméletet nem én találtam ki, én csak alkalmazni próbáltam komplex, biológiai eredetű, elemi kristályszerkezeten, hogy a többértékű problémát elkerülhessem. A Berry Phase elméletét a 2.16-os egyenlet szemlélteti a dolgozatban a 41. oldalon. A teljes polarizációt a használt kvantummechanikai elmélet alapján 2 részből határoztam meg. Ezek az elektromos és az ionos polarizációs komponensek, tehát az iontörzsek járuléka valóban a bírálatban leírt pontöltések integrált értékéből számítottam, a másik komponenst viszont a Berry Phase alapján. A pontöltések helyvektorai nem a koordinátarendszer origójának megválasztásától függenek, az elemi cella oldalhosszúságának térfogatszámításának az alapját képezik és ott került felhasználásra. A cellobióz elemi kristályszerkezetében az atomok nem periodikusan helyezkednek el, ezért alkotnak elemi kristályszerkezetet. A periódikusság a számítás

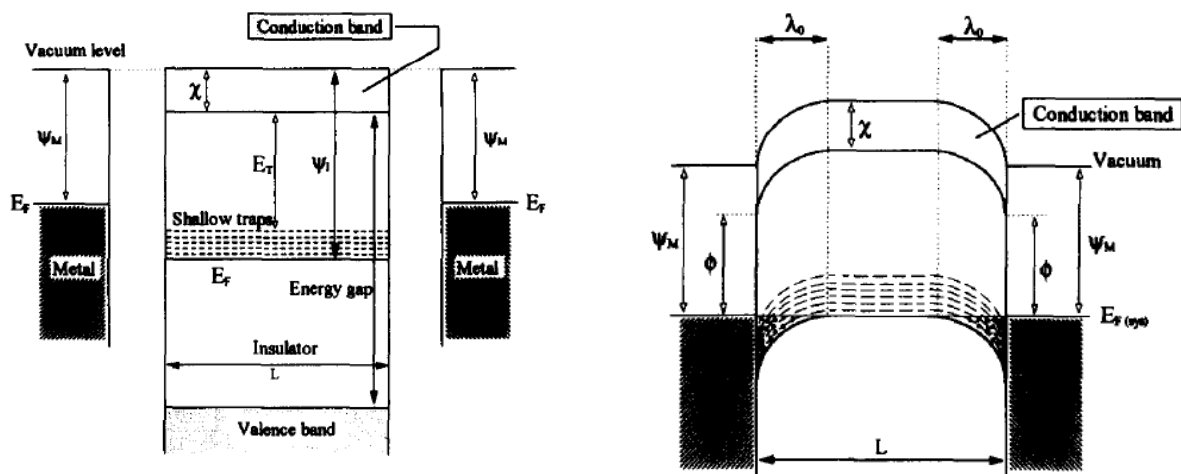
során nem okozott nem-elhanyagolható járulékot. Alapestben a kvantummechanikai számításokat 2-3 atomra és egyszerű kristályszerkezetű anyagokra alkalmazzák és ott a periodicitásnak valóban nagy jelentősége van a nem-elhanyagolható komponensek esetén. A jelen számításoknál az elemi kristályszerkezetben 36 atomot helyeztem el és ez a számítás bonyolultságát jelentősen növelte. A multivaluálé problémát pontosan a Bírálóm által említett Ewald-módszerrel kerültem el, mivel én is a reciprok tér alapján számoltam az elektrosztatikus járulékhöz. Erről a 42. oldal alján írtam, de valóban az Ewald-módszert nem, csak a reciprok tér fogalmát említettem.

A 38 nm-es film vastagságot 2 helyen említettem a dolgozatban, a 19. oldalon és az 53. oldalon, 2 külön fejezetben. A film struktúráját konvektív nyíróerővel hoztam létre különböző felületeken és nem rétegleválasztással, tehát diszkrét nanokristályokból, kolloidból építettem azt fel. Mivel a módszer reprodukálható, a kiindulási térfogat minden esetben 20 μl volt, a fecskendőtartó sebességét számítógéppel vezéreltem 8.4 cm/h sebességgel, a laborban standard klimatikus körülmények voltak, a film vastagsága állandónak tekinthető. Ezeket a paramétereket a 18., 51. és 52. oldalakon említem a dolgozatban.

A 3. fejezetben a minta kontaktálásához arany és réz rendszert használtam az AFM-es piezoelektromos vizsgálatoknál, a 4. fejezetben a cellulóz nanokristály kolloidból a vékonyfilmet alumínium fóliára készítettem. Az arany, réz, alumínium kapacitásra való befolyását nem vettem figyelembe a méréseknél, mivel a piezoelektromos mérésnél a jelgenerátor által keltett függőleges elmozdulásra voltam csak kíváncsi, az alumíniumos rendszerrel pedig, hogy alkalmas-e ez az összeállítás a piezoelektromos jelenség leírására. A méréseket különböző földrészekben és laborokban végeztem, nem volt célom a két különböző eljárást azonos alapokra hozni. Ezzel szemben azonban a cellulóz nanokristályból felépülő vékonyfilm kapacitását az 59. oldalon számoltam a 3.4 egyenlet alapján és ~235 nF értéket kaptam. Mivel ez az érték a 3.5-ös egyenletben a nevezőben szerepel, az inverz piezoelektromos hatás értékelésénél érzékenyen befolyásolja a generálható feszültség nagyságát. A 3.3-as ábra leírása az 54. oldalon található, miszerint a kép felső harmada (y irányban) a 10 V-os hullámvázst jelzi a kép síkjára merőleges irányban (a sötét csíkok a hullámvölgyek, a világos csíkok a hullám hátaakat jelenti), míg a középső harmad a 15 V-os hullámvázst, a kontrasztosabb csíkok a nagyobb amplitúdó következménye, a kép alsó harmada pedig a 0 V-os, feszültségmentes üres állapotot jelzi. Az X irányt időtengelynek is tekinthetjük. Az AFM tű nem mozdult el a mérés során, kontaktusban helyeztem a réz elektródára és mértem a z irányú deformációt. A kontaktusrendszer a 3.2 ábrán látható, leírása az 53. oldalon található. Az 54. oldalon található megfogalmazás „...on four different supported CNC films,...” nem a hordozó korrekcióját jelenti – ha erre gondolt a Bírálóm – hanem a különböző módon rendezett nanokristályos filmeket jelenti. Ismert tény, hogy a piezoelektromos hatás a kristályosság és rendezettség növelésével erősíthető. Itt ebben a kísérletben ezt a jól ismert fogalmat próbáltam szemléltetni a különböző rendezettségű filmekkel. Az 57. oldalon tárgyalt kristálydeformációt nem próbáltam még szemléltetni dinamikus ábrázolással, de ilyen kristályszerkezet

található a dolgozat 9. oldalán és az atomok elhelyezkedéséről szóló leírás a 10. oldalon, majd később a 41. oldalon is.

A 3.5 ábrán látható modellezés kiinduló adatai a 62. oldalon találhatóak. A 3.6 ábra hivatkozása a dolgozatban valóban el lett írva, köszönöm a javítást, az ábra számolt értékeket mutat. Az admittancia dimenzió nélkül szerepel az ábra függőleges tengelyén, a zárójelben szereplő S az admittancia jelére utal (a 62. oldalon található egyenlet alapján) és nem Simens dimenziót jelöl. Az admittancia feltűnően szabályos menetének a leírása a dolgozat 63. oldalán található. Ahogy az ott található hivatkozás is mutatja, korábban méréssel igazoltam a jelenséget, magyarázata a cellulóz nanokristályok szigetelő tulajdonságában rejlik. A fém Fermi szintje alatt azt az energia sávot értem, amely egybe esik a vezetési sávval, a cellulózé viszont, mivel szigetelő, a vegyértéksávban (azaz a tiltott sávban) található. A kapcsolódó pontban hivatkozott Thielen és m. társai (1996) munkájukban részletesen bemutatják a két alumínium lap közé helyezett PET szigetelő anyag és Fermi szintje alatt-felett található vegyértéksávok jelentőségét a dielektrikum szempontjából alap esetben, amikor még nincs kapcsolat közöttük és abban az esetben, amikor már kapcsolat van a vezető és szigetelő anyag között. A jelenséget hasonló körülmények között mértem és írtam le a *Cellulose (2015)* folyóiratban megjelent publikációban. Az összeállítás és fent leírtak pontosabb illusztrálása érdekében idemásolom Thielen és m. társai (1996)-ban publikált munkájukból két képet (bal oldali ábra kontaktus előtt, jobb oldali ábra ohmos ellenállással). Az ábrán található jelölések a hivatkozott munkában találhatóak, a Fermi szint értelmezhető a bemutatott ábrákon.



A 3.6 fejezetben leírt két számolásból adódó összehasonlított sajátfrekvencia vizsgálattal kapcsolatos kísérleti elrendezésről számol be a dolgozat 92. oldalán található leírás és a 93. oldalán található kép is. A 4.8 ábra bár nem frekvencia értéket mutat, de egyértelműen látható rajta, hogy a konzolos bakteriális nanofibrilla vékonyfilm alumínium fólián rezgés közben mérhető feszültséget

generál. A 3. fejezetben leírt elméleti számításokat pontosan még nem sikerült reprodukálni, de a bemutatott módszer egyértelmű bizonyítékot szolgáltat az elmélet helyességét illetően.

A dolgozatban bemutatott 4.1-es FE-SEM képek célja a kvalitatív összehasonlítás volt. A képeken az egyes kezelések hatására bekövetkező változások jól nyomon követhetőek a baktérium testek számának csökkenésével például. Az *e* és *f* képek pontosan tükrözik az ultrahangos kezelés várt hatását, miszerint minél hosszabb ideig kezeljük nagyteljesítményű ultrahanggal a szuszpenziót, annál jobban elválnak az elemi cellulóz fibrillák egymástól. A 4.2-es ábra leírása a 79. oldalon található és az értelmezés szerint a bemutatni kívánt változás a kezelés hatására bekövetkező agglomeráció csökkentése és a nanofibrillák nanoszintű rendeződése volt. A szálak – fibrillák – távolságának a változása alatt az aggregátumok szétválását értettem, ami például a 4.2-es *a* és *c* ábrákon követhető nyomon. A 4.2-es *a* ábrán a nanofibrillák aggregált állapotban vannak, ami a nagyobb átmérő, szélesebb kötegek méretén látható. A 4.2-es *c* ábrán nem látható ilyen aggregátum, a fibrillák szélességi mérete jelentősen csökkent. Az ábrákon nem az egymást metsző szálak távolságát kell figyelembe venni kvantitatív módszerekkel, hanem a párhuzamosan futó szálakét, ahol az eltávolodás tetten érhető.

Cellulóz minták esetén azért ezt két IR tartományt vizsgáljuk, mert a cellulóz molekulán belül található kötések és funkciós csoportoknak ezeken a tartományokon vannak csak elnyelési sávjai, itt tudnak csak reakcióba lépni az infravörös sugárzással. A cellulóznak a nemzetközi és hazai szakirodalmában meghatározott újlennyomat tartománya van, a kutatók ezen tartományban látható változásokra figyelnek általában a cellulóz kémiai jellegű kezelését követően. Így az újlennyomat – finger print – tartomány nemzetközi elnevezését követtem ezen a helyen. A másik tartomány bemutatása nagyon fontos a szabad OH csoportok mennyiségi változásának nyomon követése érdekében. 4.1-es táblázatban szereplő értékekhez használt spektrumok 50 szkennelés eredményeképpen létrejövő spektrumokból származtattam a 75. oldalon leírtakkal megegyezően. Ezt követően pl. a TCI értéket úgy kaptam meg, hogy az 1372 1/cm-nél található abszorbancia értéket elosztottam a 2900 1/cm-nél található abszorbancia értékkel, mivel azok jellemzően a cellulóz olyan komponenseinek az elnyelését jelentik, amely egyértelműen kapcsolatba hozható a kristályossággal. Ezeket a hullámszám értékeket, a többi hányadossal együtt szakirodalomban találtam. A 4.1-es táblázat adatai a 83. oldalon található leírással hozható összefüggésbe. Bizonyos esetekben magas TCI és LOI értékek alapján optimalizálunk, más esetekben viszont magas TCI és alacsony LOI értékek alapján. A kívánt funkció dönti el, hogy mely értékekre kell figyelni a filmkészítés paramétereinek megválasztásához. Az FTIR eredményeket jelentősnek tartom, mert bakteriális cellulóz esetében ezeket az eredményeket még nem közölték, tehát hiánypótló jellegű mérések voltak.

A röntgendiffrakciós méréseknél tapasztalható intenzitásnövekedés és -csökkenés az adott kristálysíkokon önmagában nem hordoznak számottevő eredményt. A két vizsgált csúcspólus d1 és d3 arányát kell minden esetben figyelembe venni, illetve az amorf részarány változását. Az intenzitás csökkenést

okozhatja az eltérő hosszúságú adatgyűjtés, a kisebb-nagyobb anyagmennyiség stb. A 4.2 táblázat értékei valóban nem mutatnak észlelhető szisztematikus változást a kezelés függvényében, de a röntgendiffrakciós méréssel nem erre kerestem választ, hanem hogy megállapíthassam a kristályosság csökkenését vagy növekedését.

Köszönöm az elismerő megjegyzéseket a 4.3, 4.6 és 4.7-es ábrákat illetően, valóban a legszembetűnőbb változás a DSC görbék által jelzett átkristályosodási folyamata. A vizes fürdő nélküli ultrahangos kezelés lényege, hogy a reaktor körül nem alkalmaztam vízhűtést, ezáltal a kavitációs üregek összeroppanásakor keletkezett magas hőmérsékletet nem korlátoztam, a reakció a természetes maximum állapotát érte el. Számos tanulmány foglalkozott korábban a kavitáció hőmérséklet függésével, alacsonyabb (20-30°) jobban kedvez bizonyos kémiai reakcióknak, de jelen esetben a magas hőmérséklet segítette a fibrillák szabaddá tételét.

Az első három tézis összevonására tett javaslatot elfogadhatónak találok, de a 4. és 5. téziseket véleményem szerint nehéz összevonni, mert az egyik, a 4. elméleti megfontolásokat tartalmaz az 5. pedig gyakorlati mérésen alapszik. A 6. tézist az 58-59. oldalon leírt levezetéssel igazoltam, véleményem szerint elfogadható önálló tézisként.

Válaszaim végére érve tisztelettel megköszönöm Dr. Nemcsics Ákos professzor úr elkötelezett munkáját, ami az ilyen opponensi vélemény összeállításához elengedhetetlenül szükséges. Dr. Nemcsics Ákos kritikai észrevételeit és a kérdésekben rejlő jelzéseket, iránymutatásokat további munkám során igyekszem majd jól hasznosítani. Egyben külön is megköszönöm támogató javaslatát dolgozatom védelemre bocsátását illetően.

Sopron, 2017.04.21.

Tisztelettel:



Csóka Levente