Opponensi vélemény

Kelemen Lóránd

"A kétfotonos polimerizáció fejlesztése és alkalmazása biológiai vizsgálatokban"

című MTA doktori disszertációjához

Általános megjegyzések:

Kelemen Lóránd disszertációja egy additív lézeres direktírásos technológiát, illetve ennek biológiai kutatásokban való alkalmazhatóságához vezető technológiai fejlesztéseket mutat be. A kutatás fontosságát az adja, hogy a TPP módszere példátlan geometriai szabadságot biztosít komplex mintázatok előállításához, lehetővé téve egyedi mikrostruktúrák előállítását. A kutatás szervesen ötvözi az optika, az anyagtudomány és a biotechnológia eredményeit, erős multidiszciplináris keretet teremtve a tudományág határainak tágításához. Összességében a disszertáció témája időszerű, lényeges kutatási potenciállal rendelkezik, és alapvető eredményeket mutat be a jövőbeli klinikai és ipari innovációk irányába.

A kutatómunka motivációját bemutató *Bevezetés* után egy részletes *Irodalmi áttekintés* ismerteti meg az olvasót a tématerület jelenlegi állásával, főbb eredményeivel, a használt módszerekkel. A szerző által használt *Kísérleti eszközök* bemutatása után a 4-8. tematikus fejezetek mutatják be részletesen a jelölt saját eredményeit.

A szerző a dolgozatban saját eredményeit részletesen ismerteti 95 oldal terjedelemben, melyek súlya a dolgozat teljes 123 oldalas terjedelméhez képest számottevő. Az olvasást és áttekintést könnyebbé tette, hogy az értekezés eredmény fejezetei mind egy-egy tömör, önálló összefoglalást kaptak.

A doktori mű jó magyar nyelvezettel íródott, kevés pontatlan fogalmazást, elírást, illetve gépelési hibát tartalmaz. Összességében az egész mű élvezetes olvasmány, bár helyenként a megértést nehezíti az igen sokszorosan (5+) összetett mondatok alkalmazása. A szerző az ábrákat gondosan választotta meg, de az ábraszövegek egységes formátumára, és az ábraszövegek magyarra fordítására csak az illusztrációk egy részénél fordított figyelmet. A dolgozat felépítése nagyfokú odafigyelést sugall, igen tiszta logikát követ.

A dolgozat végén 223 tételből álló számozott irodalomjegyzék található, mely jól illusztrálja a jelölt olvasottságát, a munka alaposságát. A dolgozat olvasásakor hasznos lett volna, ha a szövegközi utalásokkor valamilyen módon (színes betűvel, félkövér kiemeléssel, vagy a tézisfüzetben használt T# jelöléssel) jelezte volna, hogy a hivatkozások közül melyek a saját eredmények / publikációk.

A tézisfüzet 12 oldalon foglalja össze a tudományterület előzményeit, a jelölt kutatómunkája célkitűzéseit, kísérleti módszereit, új tudományos eredményeit és azok hasznosítását. Az új tudományos eredményeket 16 tézispontba foglalja, amelyek 22 nemzetközi, tudományos kiadványban közzétett közleményhez kapcsolódnak. A kapcsolódó publikációkban a jelölt többnyire első vagy utolsó szerző, ami az elért eredmények létrehozásában meghatározó

szerepet jelez, emiatt az MTA doktori értekezés megalapozottságához nem fér kétség. Ezek alapján a tézispontokat a szerző önálló, új tudományos eredményének ismerem el.

Kérdéseim

1. Van-e tudomása MEMS in vivo alkalmazására orvosi diagnosztikában?
2. Az (1) egyenletben a molekulák koncentrációját r függéssel szerepelteti. Reális ilyen kis térfogatban a lézersugár mentén koncentráció-különbséget feltételezni? Ugyanakkor az intenzitásnak a terjedés mentén történő változását nem jelölte.
3. A dolgozatban több helyen említi, hogy a minta mozgatás sebessége fontos, hogy elérje a cm/s sebességet. Miért fontos ez? A struktúrák teljes mérete a 10 μm nagyságrendbe esik, nem tűnik úgy, mintha nagy távolságot kellene mozgatni. Egy-egy voxelben a polimerizációhoz szükséges időt is ki kell várni, ennek mennyi az ideje a mozgatásra fordított időhöz képest? Tényleg számottevő a minta elkészülte tekintetében a mintamozgatás ideje? A 23. oldalon említi, hogy egy minta elkészítése több óra – ez raszteres vagy vektoros eljárásra vonatkozó gyártási idő?
4. A kétfotonos hatáskeresztmetszetet képlettel is definiálja (2), ezzel kezdi a TPP bevezetését, majd később (14. oldal) áttér a kétfotonos abszorpciós együtthatóval való jellemzésre. Érdemes lett volna a két mennyiség kapcsolatát megadni.
5. Említi, hogy az eredtileg használt Ti:S lézert lecserélték szállézerre. Mi indokolta ezt a változtatást?
6. A 8. ábrán látható kioltásos módszerhez a kioltó nyaláb profilját hogyan alakítják ki? Milyen módon hozzák létre a ~ 50 nm struktúrát?
7. A 18. E ábrán a „No-SLM" jelzésű ábrán is két nyomtatott struktúra látható. SLM nélkül hogyan készült több minta?
8. A 28. ábrán bemutatott hengerrel kapcsolatban azt jelzi, hogy a rá ható forgatónyomaték bizonyos pozícióban a nulla értéket felveszi, ahol a test csapdázódik, forgása megáll. Ha egy test forgásban van és rá nem hat forgatónyomaték, akkor annak nem tovább kellene forognia
9. A Young-modulust a feszültség – deformáció grafikon lineáris tartományában szokás definiálni. Ha a grafikon meredekségeként általánosítjuk a megszokott definíciót a nemlineáris összenyomódás tartományára is, akkor arra számítunk, hogy kis deformációnál a Young-modulus értéke állandó, ami a nemlineáris tartományban csökken. Az 55. ábrán bemutatott grafikonon a csökkenő tendencia megfigyelhető, azonban a kis benyomódás esetében a konstans viselkedés nem látszik. Mi ennek az oka?
10. Ha egy összetettebb 3D polimer eszközt több lézersugárral nyomtatnak, okoz-e problémát a különböző sugarak által létrehozott egységek összetapadása (pl „kihűlés" miatt)? Előszokott-e fordulni, hogy egy összetett eszköz nem elég stabil, és összeomlik?
11. Milyen kritériumoknak kell megfelelniük a biológiai alkalmazásra szánt fotopolimereknek toxicitás szempontjából? Okoz-e problémát a nem polimerizálódott fotoreziszt? Mennyire stabilak a létrehozott mikroszerkezetek van-e tapasztalat a hosszú távú biokompatibilitásra?
12. Van-e arra tapasztalat, hogy a TPP-vel előállított mikroszerkezetek mechanikai tulajdonságai (pl. merevség vagy felszíni topográfia) befolyásolják a sejtek viselkedését – pl. a tapadást, vagy a migrációt?

Összefoglaló értékelés

A dolgozat témája időszerű, az elért eredmények potenciálisan klinikai és ipari alkalmazhatóságuk miatt nem csak a fizikus közösség körében, hanem szélesebb körben is komoly érdeklődésére tarthatnak számot. A dolgozatban használt vizsgálati módszerek korszerűek, a dolgozatban leírt kísérleti és modellezési munka színvonalas, a problémák felvetése és megközelítése a szakterület és a szakirodalom megfelelő ismeretét tükrözik.

Említésre méltó, hogy a jelölt a fizikai / anyagtudományi alapkutatási eredményeket mindig egy másik diszciplína területén való gyakorlati alkalmazás szempontjából mutatja be.

Kelemen Lóránd doktori dolgozatában, az azokhoz kapcsolódó publikációkban illetve a tézispontokban leírtakat lényeges új tudományos eredményeknek tartom. Az elért tudományos eredményeket elegendőnek tartom az MTA doktori cím megszerzéséhez, és javaslom az értekezés nyilvános vitára bocsátását.

Szeged, 2026. 11. 02.

Varjú Katalin

Varjú Katalin
Tudományos Igazgató
ELI Hu Nkft.