

Lokalizációs mikroszkópai modalitások szimulációs és kísérleti vizsgálata

Doktori Értekezés Tézise

Szerző:
Novák Tibor

Témavezető:
Dr. Erdélyi Miklós



Fizikai Doktori Iskola
Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék
Szegedi Tudományegyetem

2022
Szeged

Összefoglaló

Bevezetés

A mikroszkópok már évszázadok óta nélkülözhetetlen eszközei a mikrovilág vizsgálatának. Ezen idő alatt sokrétű alkalmazást nyertek számtalan tudomány területen, amik kielégítésére számos speciális módszert fejlesztettek ki. Az egyik ilyen optikai technika, a fluoreszcens mikroszkópia egy fél évszázada terjedt el a biológiai kutatásokban. Népszerűségét elsősorban annak köszönheti, hogy a különböző sejtalkotók jó specificitással vizsgálhatóak a segítségével. Az optikai mikroszkópok alkalmazhatóságának azonban egy jelentős akadályt állít magának az optikai rendszernek a diffrakcióból származó feloldóképessége. Ezt csak a közelmúltban sikerült leküzdeni különböző mérési trükkökkel, amiket gyűjtőnéven nagyfeloldású mikroszkópiának hívunk. Ezen belül is egy igen népszerű ág a lokalizációs mikroszkópia, aminél időben szétválasztjuk a fluoreszcens jelölések jeleit, így azok egyedileg mérhetőek. Példaként a dSTORM technikánál a festékeket speciális puffer oldatba helyezjük, ami fotovillogást indukál. Így a festékeket külön-külön lokalizálva akár ~ 20 nm-es feloldás is elérhető. A megnövekedett feloldás azonban nem jár ingyen, a lokalizációs módszerek összetett adatelemzést és eredmény kiértékelést kívánnak.

A lokalizációs mikroszkópiában igen fontos értékmérő a felvillanások lokalizálásának precizitása és pontossága, amik rendre a véletlenszerű és a szisztematikus hibát írják le. Ugyanilyen lényeges, hogy a jelöléseket elegendő sűrűségben detektáljuk annak érdekében, hogy a vizsgálandó struktúra jól kirajzolódjon. Az előbb említett mennyiségek számszerűsíthetők, azonban a képminőség teljes jellemzésére önmagukban nem elegendők. Minden esetben, amikor a mérés nem ideális, vagyis nem csak az egyedi molekulák jeleit detektáljuk, képrekonstrukciós hibákat kapunk. Ilyen fordul elő, amikor nagy sűrűségben történnek a véletlenszerű fotovillogások, a molekulák képei összemosódnak, és az algoritmus nem bírja őket különválasztani. Ez tipikusan azt eredményezi, hogy több felvillanás egyként kerül azonosításra téves középponttal, vagy pedig teljesen mellőzve lesznek. Ezen felül egyéb tényezők, mint a minta fokozatos elmozdulásával vagy a belőle származó autofluoreszcens háttérrel is számolni kell. Példaként az utóbbi téves lokalizációkat eredményez, illetve eltolja a lokalizációk középpontjait.

A műtermékek mind elméleti leírással, mind kísérletileg nehezen vizsgálhatóak. Erre leginkább szoftveres szimuláció ad lehetőséget, ahol is a paramétereket szabadon változtatva, könnyen vizsgálható, hogy mennyire is tér el a rekonstruált struktúra a ténylegestől. Így megállapítható, hogy az adott mérési modali-

tás és minta típus esetén milyen képminőség várható a különböző mérési paraméterek alkalmazásával. A lokalizációs mikroszkópia a laterális pozíció mellett számos egyéb információ kinyerésére is lehetőséget nyújt az egyedi molekulák jeleiből. A nagy feloldást megtartva, sokaságból származó információ helyett egyedi események statisztikáját kapuk. Az egyik ilyen információ a 3D rekonstrukcióhoz szükséges axiális pozíció. Ez talán a legegyszerűbben a leképző rendszerbe történő hengerlencse elhelyezéssel érhető el. Ennek a következtében a fókusz sík két oldalán két, egymásra merőleges tengely mentén lesz elnyúlt a molekula képe, aminek alakja magában kódolja annak az axiális pozícióját. Több eltérő spektrális tulajdonságú fluorofórt alkalmazva ún. többszínű mérést is végezhetünk, gazdagabb struktúrális információt nyerve egyazon mintáról. A különböző fluorofórok eltérő spektrális tulajdonságait kihasználva a gerjesztési vagy az emissziós oldalon, azok jelei szétválaszthatóak több mérési csatornára. Ekkor a csatornák közti jel arányokból állapítjuk meg, hogy a felvillanás melyik fluorofórhoz tartozhat. A fluorofórok-ról, mint dipól sugárzók irányultságáról is van lehetőség információkat szerezni polarizáció érzékeny elemet helyezve a fényútba. Ez csak azokban az esetekben tehető meg, amikor a fluoreszcens jelölések jól beágyazódnak a mintába, és ennek következtében a forgásuk korlátozott, vagy akár rögzített. Ekkor az orientációt

mérve, a minta molekuláris elrendeződéséről nyerhetünk információkat. A fluorofórok erőteljes elektrodinamikai kölcsönhatásba is léphetnek a környezetükben lévő plazmonikus struktúrákkal, ami szintén vizsgálható egyedi molekula szinten. A kölcsönhatás több emissziós tulajdonságban is megnyilvánul, de a legközvetlenebbül a felvillanások fényességén keresztül mérhető. Így a plazmonikus struktúrák tulajdonságaira lehet következtetéseket tenni, vagy pedig az elméleti predikciók ellenőrizhetőek kísérletileg.

Mindegyik mérési modalitás más-más kísérleti elrendezést és adat kiértékelést kíván, és ennek megfelelően különböző képalkotási hibákra lehet számítani.

Célok és kutatási módszerek

Célul tűztem ki, hogy az egyedi molekula lokalizációs mérések szimulálására szolgáló TestSTORM szoftver eszköztárát kibővítssem, és ezáltal többféle lokalizációs mérés szimulációs vizsgálatát tegyem lehetővé, mindezt minél inkább valósághűen. Feladatomban tekintettem, hogy a valósághű felvillanás pontátviteli függvényeket alkalmazva megvizsgáljam a defókuszáltság és a dipól orientáció rekonstruált képre gyakorolt hatását. Célul tűztem ki, hogy karakterizáljam az asztigmias 3D és kétszínű mérési modalitások esetén várható képrekonstrukciós műtermékeket, továbbá,

hogy értelmezsem az AdOptIm csoport korábbi polarizáció érzékeny mérését. Terveim közt szerepelt, hogy kiértékelési eljárást dolgozzak ki, amivel az egyedi molekula jelekből kinyerhető a felvillanások fényességeinek információja, és ezt mérési eredményének elemzésére felhasználjam.

A TestSTORM szimulációs szoftver fejlesztését és a lokalizációs mérések kiértékelését MATLAB programnyelven végeztem. A TestSTORM forráskódja nyíltan elérhető az AdOptIm csoport honlapján (<http://titan.physx.u-szeged.hu/~adoptim/>). A trajektóriák képkocka számaira vonatkozó számolásokat Julia nyelven írtam. A dSTORM és a fehér fényű transzmissziós méréseket az AdOptIm csapat saját építésű mikroszkóp rendszerén végeztem. A rendszer Nikon Eclipse Ti-E mikroszkóp vázra épül. A dSTORM mérések során az MPB Communications Inc. 647 nm-es lézert használtam, a felvételeket Andor iXon3 897 kamera elektron sokszorozó üzemmódjával készítettem.

Új tudományos eredmények

T1: Diffrakciós PSF modellek segítségével megvizsgáltam a rétegzett közeg fázisberrációjának és a dipól momentum rögzítettségének hatását a lokalizációs képre. Megmutattam, hogy a fázisberráció által bevezetett defókuszáltságra való aszimmetria megjelenik a lo-

kalizációs képen, elsősorban PSF standard deviációra vagy illesztés reziduumra történő szűrés hatására. A vektoriális PSF modell segítségével megvizsgáltam a fotoszelekció és PSF alak hatását henger, illetve gömb alakú struktúrára, különböző dipólus irányítottságok mellett. Megmutattam, hogy eltérő gerjesztési sémák és dipólus orientáltságok esetén jelentősen különböző képrekonstrukciós műtermékek alakulhatnak ki. [A1]

T2: A TestSTORM szimulációs szoftverbe beépítettem és alkalmaztam a polarizáció érzékeny, a kétszínű és az asztigmias 3D szimulációs lehetőségeket. Polarizáció érzékeny szimuláció segítségével értelmeztem az AdOptIm csoport korábbi mérési eredményét, és becslést adtam a mért dipól orientáció korlátozottság értékére. Kétszínű szimulációt alkalmazva megvizsgáltam a fényesség alapú szűrés hatékonyságát az áthallás eltávolítására. 3D asztigmias szimulációk segítségével megmutattam a defokuszáltság aszimmetriájának, az átfedéseknek és a struktúrált háttérnek a hatását a rekonstruált képre. Megmutattam különféle műtermékek jelenlétét, amik lokalizációs adat szűréssel nem korrigálhatóak. [A1, A2]

T3: Eljárást dolgoztam ki plazmonikus nanorészecské-

ken történő dSTORM mérések végzésére és kiértékelésére az egyedi molekula fényességek meghatározása céljából. Az általam fejlesztett szoftveres módszer meghatározza a fotovillogást végző festékek felvillanásainak fényességét. A hű egyedi molekula információk kinyerése érdekében az algoritmust képessé tettem a nanorészecskékből származó fluoreszcens háttér kezelésére. Továbbá a módszer képes beazonosítani a nanorészecskéket, és kiválogatni a hozzájuk tartozó lokalizációs adatokat. Arany nanorudakat tartalmazó mintán dSTORM méréseket végeztem és a kidolgozott eljárással vizsgáltam a rajtuk történő felvillanások fényességét. [A3]

Publikációs lista

Az MTMT azonosítóm: 10058546

Felhasznált publikációk

- [A1] Novák, T., Gajdos, T., Sinkó, J., Szabó, G. and Erdélyi, M., 2017. TestSTORM: Versatile simulator software for multimodal super-resolution localization fluorescence microscopy. *Scientific reports*, 7(1), pp.1-8.
- [A2] Erdélyi, M., Sinkó, J., Gajdos, T. and Novák, T., 2017, February. Enhanced simulator software for image validation and interpretation for multimodal localization super-

resolution fluorescence microscopy. *In Single Molecule Spectroscopy and Superresolution Imaging X* (Vol. 10071, pp. 70-75). SPIE.

- [A3] Tóth, E., Ungor, D., Novák, T., Ferenc, G., Bánhelyi, B., Csapó, E., Erdélyi, M. and Csete, M., 2020. Mapping fluorescence enhancement of plasmonic nanorod coupled dye molecules. *Nanomaterials*, 10(6), p.1048.

Egyéb publikációk

- [B1] Csizmadia, T., Erdélyi, M., Smausz, T., Novák, T. and Hopp, B., 2015. Simulation of the reflectivity properties of microstructured titanium surface by ray tracing method. *Journal of Laser Micro Nanoengineering*, 10(2), pp.210-215.
- [B2] Gajdos, T., Cserteg, Z., Szikora, S., Novák, T., Kovács, B.B., Szabó, G., Mihály, J. and Erdélyi, M., 2019. mmSTORM: Multimodal localization based super-resolution microscopy. *Scientific reports*, 9(1), pp.1-9.
- [B3] Szikora, S., Gajdos, T., Novák, T., Farkas, D., Földi, I., Lenart, P., Erdélyi, M. and Mihály, J., 2020. Nanoscopy reveals the layered organization of the sarcomeric H-zone and I-band complexes. *Journal of Cell Biology*, 219(1).
- [B4] Szikora, S., Novák, T., Gajdos, T., Erdélyi, M. and Mihály, J., 2020. Superresolution Microscopy of Drosophila Indirect Flight Muscle Sarcomeres. *Bio-protocol*, 10(12), pp.e3654-e3654.

Konferencia poszter

- [P1] T. Gajdos, T. Novák, Zs. Cserteg, M. Erdélyi (2017) *Multimodal localization based super-resolution microscopy with efficient photon collection*. MMC2017, 2017.07.3-6., Manchester, Egyesült Királyság

- [P2] T. Gajdos, T. Novák, Zs. Cserteg, M. Erdélyi (2017) *Multimodal localization based super-resolution microscopy with efficient photon collection.* MBFT XXVI. Kongresszus, 2017.08.22-25., Szeged
- [P3] T. Gajdos, T. Novák, Zs. Cserteg, M. Erdélyi (2018) *Multimodális lokalizációs mikroszkóp effektív fotongyűjtéssel.* Kvantumelektronika 2018, 2018.06.15., Budapest
- [P4] T. Gajdos, Zs. Cserteg, Sz. Szikora, J. Mihály, B. B. H. Kovács, T. Novák, M. Erdélyi (2019) *Multimodal localization microscopy with efficient photon collection.*, FOM2019, 2019.04.14-17., London, Egyesült Királyság

TÁRSSZERZŐI NYILATKOZAT


Alulírott *Dr. Gajdos Tamás* kijelentem, hogy Novák Tibor szerepe meghatározó volt a

Erdélyi M, Sinkó J, Gajdos T, Novák T. *Enhanced simulator software for image validation and interpretation for multimodal localization super-resolution fluorescence microscopy*. In *Single Molecule Spectroscopy and Superresolution Imaging X 2017 Feb 21* (Vol. 10071, pp. 70-75). SPIE.

publikációban közzétett azon eredményeink kidolgozásában, melyekre a jelölt „*Lokalizációs mikroszkópai modalitások szimulációs és kísérleti vizsgálata*” című doktori értekezésének 2. tézispontjában hivatkozik.

Társszerzőként a hivatkozott eredményeket tudományos fokozatszerzés céljából eddig nem használtam fel, és ezt a jövőben sem teszem.

Szeged, 2022. Február hó 31 nap



Dr. Gajdos Tamás

TÁRSSZERZŐI NYILATKOZAT

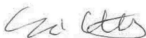
Alulírott Dr. Sinkó József kijelentem, hogy Novák Tibor szerepe meghatározó volt a

Novák T, Gajdos T, Sinkó J, Szabó G, Erdélyi M. *TestSTORM: Versatile simulator software for multimodal super-resolution localization fluorescence microscopy*. Scientific reports. 2017 Apr 19;7(1):1-8.

publikációban közzétett azon eredményeink kidolgozásában, melyekre a jelölt „Lokalizációs mikroszkópai modalitások szimulációs és kísérleti vizsgálata” című doktori értekezésének 1. és 2. tézispontjaiban hivatkozik.

Társszerzőként a hivatkozott eredményeket tudományos fokozatszerzés céljából eddig nem használtam fel, és ezt a jövőben sem teszem.

Szeged, 2022. Július hó ...30... nap



.....

Dr. Sinkó József

TÁRSSZERZŐI NYILATKOZAT


Alulírott *Prof. Dr. Szabó Gábor* kijelentem, hogy Novák Tibor szerepe meghatározó volt a

Novák T, Gajdos T, Sinkó J, Szabó G, Erdélyi M. *TestSTORM: Versatile simulator software for multimodal super-resolution localization fluorescence microscopy*. Scientific reports. 2017 Apr 19;7(1):1-8.

publikációban közzétett azon eredményeink kidolgozásában, melyekre a jelölt „Lokalizációs mikroszkópai modalitások szimulációs és kísérleti vizsgálata” című doktori értekezésének 1. és 2. tézispontjaiban hivatkozik.

Társszerzőként a hivatkozott eredményeket tudományos fokozatszerzés céljából eddig nem használtam fel, és ezt a jövőben sem teszem.

Szeged, 2022. *augusztus* hó *23* nap


.....
Prof. Dr. Szabó Gábor

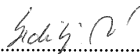
TÁRSSZERZŐI NYILATKOZAT

Alulírott, mint Novák Tibor jelölt doktori témavezetője a „Lokalizációs mikroszkópiai modalitások szimulációs és kísérleti vizsgálata” című doktori értekezéshez kapcsolódó

Novák T, Gajdos T, Sinkó J, Szabó G, Erdélyi M. *TestSTORM: Versatile simulator software for multimodal super-resolution localization fluorescence microscopy*. Scientific reports. 2017 Apr 19;7(1):1-8.

publikációval és a jelölt 1. és 2. tézispontjaival kapcsolatban ezúton nyilatkozok arról, hogy az értekezésben felhasznált eredmények tükrözik a jelölt önálló hozzájárulását.

Szeged, 2022. augusztus 10. hó ... nap

.....


Dr. Erdélyi Miklós

TÁRSSZERZŐI NYILATKOZAT

Alulírott, mint Novák Tibor jelölt doktori témavezetője a „Lokalizációs mikroszkópai modalitások szimulációs és kísérleti vizsgálata” című doktori értekezéshez kapcsolódó

Erdélyi M, Sinkó J, Gajdos T, Novák T. *Enhanced simulator software for image validation and interpretation for multimodal localization super-resolution fluorescence microscopy*. In Single Molecule Spectroscopy and Superresolution Imaging X 2017 Feb 21 (Vol. 10071, pp. 70-75). SPIE.

publikációval és a jelölt 2. tézispontjával kapcsolatban ezúton nyilatkozok arról, hogy az értekezésben felhasznált eredmények tükrözik a jelölt önálló hozzájárulását.

Szeged, 2022. augusztus 10. hó ... nap

.....
Erdélyi M.

Dr. Erdélyi Miklós

TÁRSSZERZŐI NYILATKOZAT

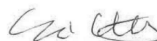
Alulírott Dr. Sinkó József kijelentem, hogy Novák Tibor szerepe meghatározó volt a

Erdélyi M, Sinkó J, Gajdos T, Novák T. *Enhanced simulator software for image validation and interpretation for multimodal localization super-resolution fluorescence microscopy*. In *Single Molecule Spectroscopy and Superresolution Imaging X 2017 Feb 21* (Vol. 10071, pp. 70-75). SPIE.

publikációban közzétett azon eredményeink kidolgozásában, melyekre a jelölt „*Lokalizációs mikroszkópai modalitások szimulációs és kísérleti vizsgálata*” című doktori értekezésének 2. tézispontjában hivatkozik.

Társszerzőként a hivatkozott eredményeket tudományos fokozatszerzés céljából eddig nem használtam fel, és ezt a jövőben sem teszem.

Szeged, 2022.Július..... hó ...30.... nap



.....
Dr. Sinkó József

TÁRSSZERZŐI NYILATKOZAT


Alulírott *Dr. Gajdos Tamás* kijelentem, hogy Novák Tibor szerepe meghatározó volt a

Novák T, Gajdos T, Sinkó J, Szabó G, Erdélyi M. *TestSTORM: Versatile simulator software for multimodal super-resolution localization fluorescence microscopy*. Scientific reports. 2017 Apr 19;7(1):1-8.

publikációban közzétett azon eredményeink kidolgozásában, melyekre a jelölt „*Lokalizációs mikroszkópiai modalitások szimulációs és kísérleti vizsgálata*” című doktori értekezésének 1. és 2. tézispontjaiban hivatkozik.

Társszerzőként a hivatkozott eredményeket tudományos fokozatszerzés céljából eddig nem használtam fel, és ezt a jövőben sem teszem.

Szeged, 2022. *Július* hó *31* nap


.....
Dr. Gajdos Tamás

TÁRSSZERZŐI NYILATKOZAT

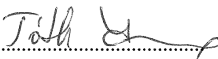
Alulírott Tóth Emese kijelentem, hogy Novák Tibor szerepe meghatározó volt a

Tóth E, Ungor D, Novák T, Ferenc G, Bánhelyi B, Csapó E, Erdélyi M, Csete M. *Mapping fluorescence enhancement of plasmonic nanorod coupled dye molecules*. *Nanomaterials*. 2020 Jun;10(6):1048.

publikációban közzétett azon eredményeink kidolgozásában, melyekre a jelölt „Lokalizációs mikroszkópai modalitások szimulációs és kísérleti vizsgálata” című doktori értekezésének 3. tézispontjában hivatkozik.

Társszerzőként a hivatkozott eredményeket tudományos fokozatszerzés céljából eddig nem használtam fel, és ezt a jövőben sem teszem.

Szeged, 2022. augusztus..... hó⁰⁵ nap


.....
Tóth Emese

TÁRSSZERZŐI NYILATKOZAT

Alulírott *Dr. Ungor Ditta* kijelentem, hogy Novák Tibor szerepe meghatározó volt a

Tóth E, Ungor D, Novák T, Ferenc G, Bánhelyi B, Csapó E, Erdélyi M, Csete M. *Mapping fluorescence enhancement of plasmonic nanorod coupled dye molecules*. *Nanomaterials*. 2020 Jun;10(6):1048.

publikációban közzétett azon eredményeink kidolgozásában, melyekre a jelölt „*Lokalizációs mikroszkópiai modalitások szimulációs és kísérleti vizsgálata*” című doktori értekezésének 3. tézispontjában hivatkozik.

Társszerzőként a hivatkozott eredményeket tudományos fokozatszerzés céljából eddig nem használtam fel, és ezt a jövőben sem teszem.

Szeged, 2022. *augusztus* hó*1*..... nap



Dr. Ungor Ditta

TÁRSSZERZŐI NYILATKOZAT

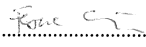
Alulírott *Dr. Ferenc Györgyi* kijelentem, hogy Novák Tibor szerepe meghatározó volt a

Tóth E, Ungor D, Novák T, Ferenc G, Bánhelyi B, Csapó E, Erdélyi M, Csete M. *Mapping fluorescence enhancement of plasmonic nanorod coupled dye molecules*. *Nanomaterials*. 2020 Jun;10(6):1048.

publikációban közzétett azon eredményeink kidolgozásában, melyekre a jelölt „*Lokalizációs mikroszkópiai modalitások szimulációs és kísérleti vizsgálata*” című doktori értekezésének 3. tézispontjában hivatkozik.

Társszerzőként a hivatkozott eredményeket tudományos fokozatszerzés céljából eddig nem használtam fel, és ezt a jövőben sem teszem.

Szeged, 2022. 08. hó 23. nap


.....
Dr. Ferenc Györgyi

TÁRSSZERZŐI NYILATKOZAT

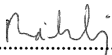
Alulírott Dr. Bánhelyi Balázs kijelentem, hogy Novák Tibor szerepe meghatározó volt a

Tóth E, Ungor D, Novák T, Ferenc G, Bánhelyi B, Csapó E, Erdélyi M, Csete M. *Mapping fluorescence enhancement of plasmonic nanorod coupled dye molecules*. *Nanomaterials*. 2020 Jun;10(6):1048.

publikációban közzétett azon eredményeink kidolgozásában, melyekre a jelölt „Lokalizációs mikroszkópiai modalitások szimulációs és kísérleti vizsgálata” című doktori értekezésének 3. tézispontjában hivatkozik.

Társszerzőként a hivatkozott eredményeket tudományos fokozatszerzés céljából eddig nem használtam fel, és ezt a jövőben sem teszem.

Szeged, 2022. július..... hó nap


.....
Dr. Bánhelyi Balázs

TÁRSSZERZŐI NYILATKOZAT

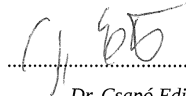
Alulírott *Dr. Csapó Edit* kijelentem, hogy Novák Tibor szerepe meghatározó volt a

Tóth E, Ungor D, Novák T, Ferenc G, Bánhelyi B, Csapó E, Erdélyi M, Csete M. *Mapping fluorescence enhancement of plasmonic nanorod coupled dye molecules*. *Nanomaterials*. 2020 Jun;10(6):1048.

publikációban közzétett azon eredményeink kidolgozásában, melyekre a jelölt „*Lokalizációs mikroszkópai modalitások szimulációs és kísérleti vizsgálata*” című doktori értekezésének 3. tézispontjában hivatkozik.

Társszerzőként a hivatkozott eredményeket tudományos fokozatszerzés céljából eddig nem használtam fel, és ezt a jövőben sem teszem.

Szeged, 2022. *aug*..... hó *1.*..... nap


.....
Dr. Csapó Edit

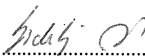
TÁRSSZERZŐI NYILATKOZAT

Alulírott, mint Novák Tibor jelölt doktori témavezetője a „Lokalizációs mikroszkópai modalitások szimulációs és kísérleti vizsgálata” című doktori értekezéshez kapcsolódó

Tóth E, Ungor D, Novák T, Ferenc G, Bánhelyi B, Csapó E, Erdélyi M, Csete M. *Mapping fluorescence enhancement of plasmonic nanorod coupled dye molecules*. *Nanomaterials*. 2020 Jun;10(6):1048.

publikációval és a jelölt 3. tézispontjával kapcsolatban ezúton nyilatkozok arról, hogy az értekezésben felhasznált eredmények tükrözik a jelölt önálló hozzájárulását.

Szeged, 2022. augusztus... hó ... nap



Dr. Erdélyi Miklós

TÁRSSZERZŐI NYILATKOZAT

Alulírott *Dr. Csete Mária* kijelentem, hogy *Novák Tibor* szerepe meghatározó volt a

Tóth E, Ungor D, Novák T, Ferenc G, Bánhelyi B, Csapó E, Erdélyi M, Csete M. *Mapping fluorescence enhancement of plasmonic nanorod coupled dye molecules*. *Nanomaterials*. 2020 Jun;10(6):1048.

publikációban közzétett azon eredményeink kidolgozásában, melyekre a jelölt „*Lokalizációs / mikroszkópiai modalitások szimulációs és kísérleti vizsgálata*” című doktori értekezésének 3. tézispontjában hivatkozik.

Társ szerzőként a hivatkozott eredményeket tudományos fokozatszerzés céljából eddig nem használtam fel, és ezt a jövőben sem teszem.

Szeged, 2022. *aug*..... hó *10*..... nap

Csete Mária

Dr. Csete Mária