

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Fényemisszió plazmonikus erősítése

Szenes András László

TÉMAVEZETŐ

Dr. Csete Mária

tudományos főmunkatárs

Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék, Szegedi
Tudományegyetem



Fizika Doktori Iskola
Szegedi Tudományegyetem
Természettudományi és Informatikai Kar
Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék
Szeged, 2022

Tudományos háttér

Fluoreszcens fényforrások mérete a nanométeres tartományokig csökkenthető, amíg mindössze egy, vagy néhány emitter marad a vizsgált térfogatban. Ezeket a nanoszkópikus fényforrásokat sok helyen alkalmazzák, így az alap kutatásban, nanofotonikában és kvantuminformatikában, vagy az orvosi diagnosztikában. A gyémánt színcentrumok a kristályrácsban természetes, vagy mesterséges úton keletkezett hiányhelyből és helyettesítő szennyező atomból állnak. A szennyeződés módosítja a kristály elektronszerkezetét, így az optikai tartományban gerjeszhető és ott emittáló fényforrásként működik. Ilyen típusú emitterek már rutinszerűen gyárthatók gőzfázisú leválasztás és ionimplantáció segítségével. A színcentrumokra jellemző a nagy fotostabilitás, az optikailag manipulálható és kiolvasható spin, ami szobahőmérsékleten is hosszú koherenciaidővel rendelkezik. Két széleskörben vizsgált képviselőjük a nitrogén vakancia (NV) és szilícium vakancia (SiV) gyémánt színcentrum. Ezek jó emissziós alaptulajdonságokkal rendelkeznek például kvantuminformatikai felhasználásokra, azonban a relatív hosszú élet-idejük, alacsony fényességük és gyenge polarizáció kontrasztjuk korlátozza hatékony alkalmazásukat. Az emitterek fluoreszcencia tulajdonságaira azonban nemcsak belső szerkezetük, de közvetlen környezetük is hatással van.

A fizika ezen Purcell effektusnak nevezett jelenségének köszönhetően ezért lehetőség adódik, hogy a fényforrások tulajdonságait az elvárásoknak megfelelően módosítsuk a nanofotonikai környezet szerkezetének tervezésével.

A megvilágító fény hullámhosszánál kisebb, vagy azzal összemérhető fém nanorészecskéken rezonánsan kelthető kollektív elektronplazma oszcillációt lokalizált felületi plazmonnak nevezzük. A jelenség fényvel történő kölcsönhatás útján is gerjeszthető és csillapított rezgésnek tekinthető. Legfontosabb tulajdonsága, hogy elektromos tere exponenciálisan cseng le a fém felületétől távolodva, így módus-térfogatát elsődlegesen nem a hullámhossz, hanem a nanorészecske geometriai mérete határozza meg. Ennek köszönhetően nanorészecskével a diffrakciós limit alá lehet az elektromágneses teret lokalizálni a hagyományos rezonátoroktól eltérően, miközben több nagyságrendnyi térerősítés is elérhető ezen nyitott nanorezonátorok közelében.

A nanofotonikai környezet módosítása lehetséges egy individuális plazmonikus nanorezonátor emitter közvetlen közelében elhelyezésével. A fényforrás gerjesztésének valószínűsége növelhető a kis módus-térfogatú plazmonikus mezővel való térbeli átfedéssel, amely az emitter pozíciójában is nagy térnövekményt eredményez. A gerjesztett állapot életideje jelentősen csökkenthető a Purcell effektuson keresztül, mivel az inhomogén közegben az emitter számára több optikai állapot válik elérhetővé, amelybe energiáját leadhatja.

Amennyiben a nanorezonátoron keresztül megnyíló relaxációs csatornák dominánsan radiatív jellegűek, az emitter kvantumhatásfoka szintén növelhető. Mindez mellett az emittált energia a nanoantennaként működő nanorezonátoron keresztül csatolódik ki a távotérbe, amely irányítottabb lehet, mint a közvetlen kisugárzás. Mindegyik jelenség alkalmas lehet az emitter fluoreszcenciájának erősítésére és kioltására is, ezért körültekintően kell eljárni a nanorezonátor – emitter konfiguráció tervezésekor.

A nanorezonátoron keltett lokalizált felületi plazmon leírható csillapított oszcillátorként. A rezgés sajátmódusait a lokalizált felületi plazmon rezonancia frekvenciával jellemezzük. Ennél a frekvenciánál a nanorészecske abszorpciója és szórása is rezonánsan megnövekedik, továbbá a közelterének erősítésében szintén maximum tapasztalható. A felületi plazmon rezonancia frekvenciája és tulajdonságai a nanorezonátor anyagi tulajdonságaitól, méretétől és alakjától jelentős mértékben függnek. Az anyagi paraméterek megválasztásával a rezonancia kondíciók és az ohmikus, valamint radiatív veszteségek egyaránt módosíthatók. Adott anyag esetében a részecskeméret és alak megváltoztatásával a nanorezonátorokon magasabb rendű plazmonikus módusok is kelthetők, amelyeknek frekvenciája, közeltére és veszteségei eltérnek egymástól. A geometria változtatásával ezen módusok rezonancia frekvenciája a látható és infravörös tartományon belül hangolható.

Az azonos vagy különböző, közelterükön keresztül csatolt nanorezonátorokon keltett plazmonikus módusok kölcsönhatásából változatos tulajdonságú hibrid módusok jöhetnek létre. Összegezve elmondható, hogy ha a választott emitter gerjesztési és emissziós folyamatát egyaránt erősíteni szeretnénk, olyan anyagú, méretű és formájú plazmonikus nanorezonátorra van szükség, amely pl. az egyfoton-forrás által meghatározott frekvenciákra hangolt módusokkal éri el a kívánt hatást. A paraméterek és módusok számossága, valamint a módusok optikai válaszra és egymásra gyakorolt hatása miatt a fluoreszcencia erősítésre alkalmas individuális monomer és dimer nanorezonátor geometria meghatározása összetett optimalizálási feladat.

Alkalmazott módszerek

Plazmonikus nanorezonátorok készítésére több módszer is létezik, mint például a kémiai szintézis vagy litográfias eljárások. Ezek a kísérleti tesztelést biztosító módszerek azonban költségesek és emellett időigényesek is. A nanorezonátorok optikai válaszának – így optikai hatáskeresztmetszet spektrumainak és térerősítésének – analitikus meghatározására a részecske szórásos és hidrodinamikai modelleken keresztül realizálható, azonban csak a legegyszerűbb esetekben, kváziszztatikus közelítésben lehetséges.

Robusztusabb eszköznek bizonyulnak a numerikus módszerek, amelyekkel bármilyen méretű és alakú nanorezonátor vagy csatolt rendszer optikai válasza meghatározható.

A processzor és memória órajelek rohamos növekedésével, valamint a párhuzamosítás megjelenésével napjainkban tudományos igényességű számolások elvégezhetők személyi számítógép méretű munkaállomásokon is. Az ebben rejlő lehetőséget ismerte fel a szegedi Nanoplazmonika Kutatócsoport, amely már kiterjedt ismeretekkel és numerikus módszerekkel rendelkezett felület plazmonok modellezésében, amikor a tudományos kutatómunkát náluk megkezdtem. Kutatásaikba történő becsatlakozásom során elsajátítottam a nanofotonikai rendszerek véges elemes módszerrel történő modellezésének és analízisének módszereit.

A végeselem módszer lényege, hogy a fizikai rendszert leíró differenciálegyenleteket a tartományt diszkrétizálva oldjuk meg, közelítő numerikus algoritmusokkal. A tartomány felosztása az ún. térhálózással történik, amelyet megfelelően sűrűre választva – ésszerű korlátokon belül – bármilyen alakzat felépíthető. A kereskedelemben is elérhető numerikus szoftverek, így például az általunk is alkalmazott COMSOL Multiphysics, a meghatározott egyenletek gyenge alakját oldja meg beépített algoritmusaival, a fizikai paraméterekkel megadott tartományon és választott peremfeltételek mellett. A módszer használata szaktudást és körültekintést igényel, hiszen a megfelelő egyenleteket szükséges alkalmazni a megfelelő fizikai modellekkel specifikált tartományokon, valamint a konklúziót a helyes mennyiségek kiolvasásával és helyes értelmezésével szükséges levonni.

A numerikus pontosság és erőforrás igényt precíz térhálózással lehet egyensúlyban tartani, szükséges felismerni és elkerülni az egyenletek, térháló vagy geometria elégtelenségéből származó instabilitásokat, mindemellett a geometria és konfiguráció optimalizálása megköveteli a helyes célfüggvény alkalmazását is.

Az inicializáló szakmai ötlet az volt, hogy a gyémánt színcentrumok fluoreszcenciáját úgy erősítsük, hogy a nanorezonátor geometriájának hangolásával és optimalizálásával plazmonikus rezonanciát keltünk az emitter abszorpciós és emissziós sávjában egyszerre, ezzel biztosítva a gerjesztés és emisszió szimultán erősítését és a fluoreszcencia hatékonyabb javítását. Célul tűztem ki ezért egy olyan numerikus módszer kidolgozását, ami lehetővé teszi a megvalósítandó konfigurációjú individuális nanorezonátor és fluoreszcens emitter optikai válaszána meghatározását, az emitter gerjesztés- és a spontán, nem-kooperatív emisszió erősítésének monitorozását biztosító eljárással. Célunk volt mindemellett a modell integrálása egy olyan numerikus környezetbe, amelyben a geometria és megvilágítási konfiguráció optimalizálásával a rendszer fluoreszcenciája a választott paraméter-tartományban és szakmai szempontok szerint választott feltételek mellett maximalizálható. A csatolt rendszerek optimalizálást a Számítógépes Optimalizálás Tanszék végezte el a saját fejlesztésű GLOBAL nevű algoritmusuk használatával, valamint annak szükséges módosításával.

Az optimalizáláshoz a keresési tartomány határait, a célfüggvény és feltételek megfogalmazását a Nanoplazmonika Kutatócsoport szolgáltatta.

A kifejlesztett végeselemes módszeren alapuló numerikus környezet eszközül szolgált a tetszőleges geometriájú individuális nanorezonátor – emitter rendszerben uralkodó elektromágneses téreloszlások nagy pontosságú meghatározására frekvencia- vagy időtartományban, a geometria finomszerkezetét és az anyagi diszperziót széles spektrális tartományban figyelembe véve. A megfelelő célfüggvénnyel NV és SiV színcentrumokhoz csatolt fém nanorúd, valamint dielektrikum-fém mag-héj monomer és dimer rendszerek geometriáját és kivilágítási konfigurációját optimalizáltuk. Az optimalizált konfiguráció részletes analízise során meghatároztam a csatolt rendszer Purcell faktor, kvantumhatásfok, teljes lecsengési ráta valamint adiatív ráta (fluoreszcencia) erősítési spektrumait, majd a nanorezonátorokon indukált töltéseloszlás és távotérbe kisugárzott teljesítmény szögeloszlásának vizsgálatával beazonosítottam a közrejátszó plazmonikus módusokat, és tulajdonságaikat.

Elért eredmények

1.(a) A végeelemes módszeren alapuló, lokalizált plazmonok modellezésére alkalmas numerikus eljárást úgy módosítottam és fejlesztettem, hogy azzal tetszőleges kompozíciójú individuális plazmonikus nanorezonátorhoz csatolt, dipólusként közelített emitter spontán (nem-kooperatív) emissziójának erősítése és korrigált kvantumhatásfoka meghatározható legyen [T1].

1.(b) A külső algoritmussal integrált végeelemes módszerrel (kritériumos) optimalizálással meghatározott, az egy-foton emisszió plazmonikus erősítésének maximalizálására alkalmas konfigurációk részletes analízisét valósítottam meg optikai válaszuk hullámhosszfüggésének meghatározásával és a domináns módusok beazonosításával [T1].

1.(c) Kimutattam, hogy a gyémánt NV és SiV színcentrumokon alapuló egy-foton források gerjesztése vagy emissziója / teljes fluoreszcenciája olyan plazmonikus nanorezonátorokkal erősíthető hatékonyan, amelyeket szeparáltan a gerjesztési vagy emisszió hullámhosszán számított radiatív lecsengési ráta / ezen erősítések szorzatából képezett célfüggvény (P_x faktor) maximalizálására optimalizálunk. A kvantumhatásfokra tett megkötéssel a csatolt emitterek korrigált kvantumhatásfoka is javítható, míg a kritérium csökkentésével a *Purcell faktor* és P_x faktor növelhető [T1].

2.(a) Kimutattam, hogy SiV és NV gyémánt színcentrumok fluoreszcenciájának erősítése lehetséges gyémánt réteggel bevont monomer nemesfém nanorudakkal. A vizsgált spektrális tartományban több rezonancia is megjelenik, amelyeket a nanorúd-tengelyek valamint az emitter pozíció és orientáció változtatásával az 532 nm gerjesztési és 650 nm vagy 738 nm emissziós hullámhosszak közelébe lehet hangolni [T1].

2.(b) Beláttam, hogy a tanulmányozott nemesfémek közül az ezüst előnyösebb, mivel az anyagi tulajdonságok által meghatározott elméleti határok ezüst esetében a célhullámhosszal nem átfedő spektrális tartományban érvényesülnek. Megmutattam, hogy ennek eredményeként a gyémánt színcentrumok gerjesztése és emissziója is erősíthető (*Purcell faktor, radiatív lecsengés* és SiV korrigált kvantumhatásfok) gyémánt réteggel bevont ezüst monomer nanorúddal. A gyémánt réteggel bevont arany monomer nanorúd kizárólag az SiV és NV színcentrumok emissziójának erősítését teszi lehetővé, a gerjesztés az intenzív *Purcell faktor* maximum ellenére nem erősíthető a rezonancia erősen nem-radiatív jellege miatt [T1].

2.(c) Kimutattam, hogy az emisszió erősítése az optimális nanorudakkal mindig jelentősebb, mint a gerjesztés erősítése. Az optimális konfigurációban a gerjesztés erősítése magasabb rendű módusokkal, míg az emisszió erősítése dipoláris módussal a leghatékonyabb a gyémánt réteggel bevont nanorezonátorokban [T1].

2.(d) Az SiV színcentrum radiatív lecsengési rátája és kvantumhatásfoka az emisszió hullámhosszán jobban erősíthető a vizsgált monomer rezonátortípusokkal, mint az NV színcentrumé. A gerjesztésen az NV radiatív rátájának erősítése nagyobb, az SiV gerjesztési-emissziós dipólusmomentumainak merőlegességére tett megkötés miatt [T1].

3.(a) Kimutattam, hogy az SiV színcentrumok fluoreszcenciája erősíthető és korrigált kvantumhatásfoka növelhető konkáv gyémánt-ezüst kompozíciójú mag-héj nanorezonátorokkal. Az elérhető P_x faktor több, mint egy nagyságrenddel nagyobb, mint a gyémánttal bevont tömör nanorudakkal, analóg kvantumhatásfok mellett. Megmutattam, hogy a konkáv mag-héj nanorezonátorokkal csatolt SiV színcentrumok széles korrigált kvantumhatásfok (cQE) intervallumban szabadon hangolhatók, és hogy ebben a tartományban a P_x faktor és cQE között fordított arányosság teljesül [T2].

3.(b) Beláttam, hogy az azonos tartományon, és azonos korrigált kvantumhatásfok megkötéssel optimalizált szferoidális és rúd-alakú konkáv mag-héj nanorezonátorokkal a nem-kooperatív spontán emisszió nagyobb mértékben erősíthető, mint szférikus konkáv nanorezonátorokkal. Megmutattam, hogy a nagyobb fluoreszcencia erősítés a gerjesztés és emisszió szimultán erősítéséből származik. Elongált nanorészecskével a gerjesztésen és emisszión is nagyobb Purcell faktor érhető el, mint szférikus részecskével azonos kvantumhatásfok mellett [T2].

3.(c) Kimutattam, hogy az SiV fluoreszcencia erősítésére optimalizált rúd-alakú konkáv mag-héj nanorezonátor az optimális szferoid geometriával analóg erősítési spektrumot eredményez, mivel az erősítést eredményező plazmonikus módusok analóg dipólusok. Beláttam, hogy a nagyobb fluoreszcencia erősítést az emisszió elérhető nagyobb *Purcell faktor* eredményezi. Megmutattam, hogy a gyémánt-ezüst mag-héj rendszerekben a gerjesztés transzverzális dipoláris kötő módussal, az emisszió pedig a longitudinális dipoláris kötő módussal erősíthető [T2].

4.(a) Megmutattam, hogy NV és SiV gyémánt színcentrumok fluoreszcenciája erősíthető gyémántba ágyazott arany és ezüst nanorúd dimerekkel, valamint kvarc-arany és kvarc-ezüst szférikus mag-héj dimerekkel is. Analóg optimalizálási eljárás mellett a két eltérő típusú dimer geometriával elérhető P_x faktorok adott színcentrum és nanorezonátor kompozíció esetében azonos nagyságrendbe esnek [T3, T4].

4.(b) Kimutattam, hogy azonos optimalizálási feltételek mellett nanorúd és mag-héj dimerek nagyobb maximális és P_x faktor és gerjesztési-emissziós ráta erősítést tesznek lehetővé ezüst vagy arany alkalmazásától és NV vagy SiV színcentrumtól függetlenül, mint a megfelelő monomer párjaik. Nagyságrendekkel nagyobb P_x faktor érhető el dimerekkel analóg korrigált kvantumhatásfok mellett is a konvex/konkáv monomer párjaikhoz viszonyítva [T3, T4].

4.(c) Beláttam, hogy az aszimmetrikus dimerek fluoreszcencia erősítése jobb lehet, mint az analóg szimmetrikus párjuké, a megnövekedett hangolható konfiguráció-paraméterek számának köszönhetően. A vizsgált tartományon megengedett aszimmetria az arany nanorúd dimerek esetében szimultán nagyobb P_x faktort és korrigált kvantumhatásfokot (cQE) eredményez, míg az ezüst nanorúd dimerekkel elérhető P_x faktor, továbbá a mag-héj dimerekkel elérhető D_x faktor növekedést anyagi paraméterektől függetlenül cQE csökkenés kíséri a monomerekhez viszonyítva [T3, T4].

4.(d) Megmutattam, hogy ezüst (arany) aszimmetrikus dimerekkel NV (SiV), mint SiV (NV) színcentrum esetében érhető el nagyobb P_x faktor. A nagyobb méret és konkáv szerkezet nagyobb korrigált hatásfokot (cQE) tesz lehetővé. A feltételes optimalizálásokból megállapítható, hogy nanorúd dimereknél anyagi paraméterektől függetlenül a szimmetria és kisebb tengelyarány preferált a nagyobb cQE elérésében. Mag-héj dimerek esetében aranynál a tömör szférikus, amíg ezüstre az elongált üreges geometriák mutatnak nagyobb hatásfokot [T3, T4].

Summary

Light emission from nanoscopic sources is used in many fields of fundamental and applied research, such as nanophotonics, quantum information technology and medical diagnostics. Diamond color centers are photostable single-photon sources with optically tailorable and readable spin of long coherence time at room temperature. Nitrogen (NV) and silicon (SiV) vacancy are widely studied representatives of color centers. For effective quantum information applications, their luminosity and polarization contrast need to be increased and their lifetime need to be reduced. The emission properties of single-photon sources are affected by their environment. Localized surface plasmons are electron plasma oscillations, which can be resonantly excited on a nanoparticles smaller than or comparable to the operation wavelength. The nanophotonic environment can be modified by placing a properly designed individual plasmonic nanoresonator near the emitter. The resonance frequency and impact including the intense near-field enhancement, lifetime reduction via Purcell phenomenon and quantum efficiency increase by radiative decay fraction modification depend on the size, shape, and material properties of the nanoresonator.

In the PhD thesis, I have modified and improved the numerical environment based on a finite element method to determine the optical response, namely the enhancement of excitation and spontaneous (non-cooperative) emission of a NV or SiV color center coupled to an arbitrary individual nanoresonator.

Integrated with a robust optimization algorithm, GLOBAL, the method is suitable for maximizing the fluorescence enhancement of color centers through geometry tuning under desired conditions, by simultaneously improving the excitation and emission processes in demand. The in-house developed numerical method has been applied to optimize the geometry and configuration of nanorod and core-shell monomer or dimer coupled color center systems and to maximize their fluorescence. The optical response of the optimized systems has been a subject of a detailed analysis by determining the Purcell factor, quantum efficiency, radiative enhancement spectra, as well as the charge, near-field and far-field distributions to identify and analyze the properties of the contributing plasmonic modes.

Publikációk

Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) azonosító:
1005525

Tézishez kapcsolódó publikációk

[T1] A. Szenes, B. Bánhelyi, L. Zs. Szabó, G. Szabó, T. Csendes and M. Csete, „Enhancing diamond color center fluorescence via optimized plasmonic nanorod configuration,” *Plasmonics* vol. 12, no. 4, pp. 1263–1280, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11468-016-0384-1>

IF: 2,366 (SJR indikátor: Q3)

[T2] A. Szenes, B. Bánhelyi, L. Zs. Szabó, G. Szabó, T. Csendes and M. Csete, „Improved emission of SiV diamond color centers embedded into concave plasmonic core-shell nanoresonators,” *Sci. Rep.* vol. 7, p. 13845, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14227-w>

IF: 4,122 (SJR indikátor: Q1)

[T3] A. Szenes, B. Bánhelyi, T. Csendes, G. Szabó and M. Csete, „Enhancing diamond fluorescence via optimized nanorod dimer configurations,” *Plasmonics* vol. 13, pp. 1977-1985, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11468-018-0713-7>

IF: 2,926 (SJR indikátor: Q2)

[T4] A. Szenes, D. Vass, B. Bánhelyi, G. Szabó and M. Csete, „Enhancing color center fluorescence via optimized configurations of diamond - gold and silver core-shell type nanoresonators,” in preparation.

Összesített IF: 9,414

Tézishez kapcsolódó konferencia közlemények

(O) – előadás, (P) – poszter, * - előadó.

[T5] D. Vass, A. Szenes*, B. Bánhelyi, T. Csendes and M. Csete, „High efficiency diamond color center fluorescence enhancement via dimers of ellipsoidal core-shell plasmonic nanoresonators,” in *SPP9 conference, 26 – 31 May, 2019. Copenhagen, Denmark (P)*. http://spp9.dk/Full-Program_SPP9.pdf

[T6] M. Csete, A. Szenes*, D. Vass, B. Bánhelyi, T. Csendes and G. Szabó, „Improved fluorescence of silicon vacancy diamond color centers via monomer and dimer core-shell nanoresonators,” in *15th international conference of Near-field Optics and Nanophotonics (NFO-15), 26-31 August 2018. Troyes, France (P)*. http://nfo15.utt.fr/doc/NFO15_Posters_Abstract.pdf

[T7] M. Csete*, A. Szenes, D. Vass, G. Szabó, B. Bánhelyi and T. Csendes: „SiV Diamond Color Center Fluorescence Improvement via Silica-Silver Core-Shell Nanoresonators,” in *IEEE Research and Applications of Photonics In Defense Conference (RAPID) 22-24 August 2018. Miramar Beach, FL, USA (O)*. paper in ISBN: 978-1-5386-5349-4, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/RAPID.2018.8509009>

[T8] M. Csete*, A. Szenes, D. Vass, B. Bánhelyi, T. Csendes and G. Szabó, “Enhanced fluorescence of nitrogen vacancy diamond color center via monomer and dimer core-shell nanoresonators,” in *OSA Advanced Photonics congress 02-05 July 2018. Zürich, Switzerland (O)*. paper in ISBN: 978-1-943580-43-9. <https://doi.org/10.1364/NOMA.2018.NoTh4D.3>.

[T9] M. Csete*, A. Szenes, E. Tóth, B. Bánhelyi, T. Csendes and G. Szabó, “Plasmon enhanced light-matter interaction,” in *ESR conference on „Laser Applications in Plasmonics” 11 – 13 Oct. 2017. Szeged, Hungary (O)*. <http://www.cost-nanospectroscopy.uni-tuebingen.de/esr-2017.html>

[T10] A. Szenes*, B. Bánhelyi, T. Csendes and M. Csete, „Enhancing diamond fluorescence via optimized single and dimer nanorod configurations,” in *Progress In Electromagnetics Research Symposium 22 – 25 May 2017. St Petersburg, Russia* (O).
<http://www.piers.org/piers2017StPetersburg/programfinal.php>

[T11] M. Csete*, A. Szenes, L. Zs. Szabó, B. Bánhelyi, T. Csendes and G. Szabó, „Plasmonic nanoresonators to enhance diamond color center emission,” in *NanoWorld conference 03 – 05 April 2017. Newton, MA, USA* (O).
http://jnanoworld.com/nwc/2017/pdfs/NWC-2017_Program.pdf

[T12] M. Csete*, A. Szenes, L. Zs. Szabó, B. Bánhelyi, T. Csendes and G. Szabó, „Fluorescence enhancement of SiV color centers via metal nano-shells and rods,” in *Quantum Nanophotonics 26 Feb. – 03 Mar. 2017. Benasque, Spain* (P).
<https://www.benasque.org/2017quantumnaphotonics/>

[T13] M. Csete, A. Szenes*, L. Zs. Szabó, B. Bánhelyi, T. Csendes and G. Szabó, „Enhancing fluorescence of diamond vacancy centers near gold nanorods via geometry optimization,” in *COMSOL conference 12 – 14 Oct. 2016. München, Germany* (O).
<https://www.comsol.no/paper/enhancing-fluorescence-of-diamond-color-centers-near-gold-nanorods-via-geometry--40611>

[T14] M. Csete*, L. Zs. Szabó, A. Szenes, B. Bánhelyi, T. Csendes and G. Szabó, „Optimizing fluorescence of diamond color centers encapsulated into core-shell nano-resonators,” in *COMSOL conference 05 – 07 Oct. 2016, Boston, MA, USA* (O).
<https://www.comsol.no/paper/optimizing-the-fluorescence-of-diamond-color-centers-encapsulated-into-core-shell-40561>

[T15] B. Bánhelyi, O. Fekete, Á. Sipos, A. Szenes, E. Tóth, D. Vass and M. Csete*, „Optimalizált Nanoplazmonika” in *Kvantumelektronika 2021: IX. Szimpózium a hazai kvantumelektronikai kutatások eredményeiről, 28. Jan. 2021. Szeged, Hungary* (O). ISBN: 978-963-306-775-8, vol. 9, pp. 14-20.
<https://doi.org/10.14232/kvantumelektronika.9.3>

[T16] A. Szenes*, D. Vass, B. Bánhelyi, T. Csenedes, G. Szabó and M. Csete, „Gyémánt színcentrumok fluoreszcenciájának erősítése plazmonikus nanorezonátor dimerekkel,” in *Kvantumelektronika 2018: VIII. Szimpózium a hazai kvantumelektronikai kutatások eredményeiről 15. June 2018. Budapest, Hungary (P)*.
https://fat.physics.bme.hu/kvantumelektronika_2018

Egyéb tudományos publikációk

[O1] D. Vass, A. Szenes, E. Tóth, B. Bánhelyi, I. Papp, T. S. Biró, L. P. Csernai, N. Kroó and M. Csete* (NAPLIFE Collaboration), „Plasmonic nanoresonator distributions for uniform energy deposition in active targets,” under review.

[O2] I. Papp, L. Bravina, M. Csete, A. Kumari, I. N. Mishustin, D. Molnár, A. Motornenko, P. Rácz, L. M. Satarov, H. Stöcker, D. D. Strottman, A. Szenes, D. Vass, T. S. Biró, L. P. Csernai and N Kroó (NAPLIFE Collaboration), „Kinetic Model Evaluation of the Resilience of Plasmonic Nanoantennas for Laser-Induced Fusion,” *PRX Energy*, vol. 1, no. 2, p. 023001, 2022.
<https://doi.org/10.1103/PRXEnergy.1.023001>

IF: 14,417 (SJR indikátor: Q1)

[O3] M. Csete, A. Szenes, E. Tóth, D. Vass, O. Fekete, B. Bánhelyi, I. Papp, T. S. Biró, L. P. Csernai, N. Kroó (NAPLIFE Collaboration), „Comparative Study on the Uniform Energy Deposition Achievable via Optimized Plasmonic Nanoresonator Distributions,” *Plasmonics* vol. 17, pp. 775-787, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11468-021-01571-x>

IF: 2,366 (SJR indikátor: Q3)

[O4] D. Vass, A. Szenes, B. Bánhelyi and M. Csete, „Plasmonically Enhanced Superradiance of Broken-Symmetry Diamond Color Center Arrays Inside Core-Shell Nanoresonators,” *Nanomaterials* vol. 12, no. 3, p. 352, 2022. <https://doi.org/10.3390/nano12030352>

IF: 2,726 (SJR indikátor: Q4)

[O5] A. Szenes, D. Vass, B. Bánhelyi and M. Csete, „Active Individual Nanoresonators Optimized for Lasing and Spasing Operation,” *Nanomaterials* vol. 11, no. 5, p. 1322, 2021.

<https://doi.org/10.3390/nano11051322>

IF: 5,719 (SJR indikátor: Q2)

[O6] I. Papp, L. Bravina, M. Csete, I. N. Mishustin, D. Molnár, A. Motornenko, L. M. Satarov, H. Stöcker, D. D. Strottman, A. Szenes, D. Vass, T. S. Biró, L. P. Csernai, N. Kroó and NAPLIFE Collaboration, „Laser wake field collider,” *Phys. Lett. A* vol. 396, p. 127245, 2021.

<https://doi.org/10.1016/j.physleta.2021.127245>

IF: 2,707 (SJR indikátor: Q2)

[O7] B. Tóth, A. Szenes, D. Maráczsi, B. Bánhelyi, T. Csenedes and M. Csete, „Polarization independent high absorption efficiency single-photon detectors based on three-dimensional integrated superconducting and plasmonic patterns,” *IEEE J. Sel. Top. Quant.* vol. 26, no. 3, pp. 1-9, 2020.

<https://doi.org/10.1109/JSTQE.2020.2987131>.

IF: 4,544 (SJR indikátor: Q1)

[O8] M. Csete, A. Szenes, D. Vass, B. Bánhelyi and P. Dombi, „Few-cycle localized plasmon oscillations,” *Sci. Rep.* vol. 10, no. 1, p. 12986, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69761-x>

IF: 4,380 (SJR indikátor: Q1)

[O9] D. Vass, A. Szenes, B. Bánhelyi, T. Csenedes, G. Szabó and M. Csete, „Superradiant diamond color center arrays coupled to concave plasmonic nanoresonators,” *Opt. Express* vol. 27, no. 22, pp. 31176-31192, 2019.

<https://doi.org/10.1364/OE.27.031176>

IF: 3,894 (SJR indikátor: Q1)

[O10] M. Csete, A. Szenes, D. Maráczsi, B. Bánhelyi, T. Csenedes and G. Szabó, „Plasmonic structure integrated single-photon detectors optimized to maximize polarization contrast,” *IEEE Photonics J.* vol. 9, no. 2, p. 4900211, 2017.

<https://doi.org/10.1109/JPHOT.2017.2690141>

IF: 2,627 (SJR indikátor: Q2)

[O11] M. Csete, G. Szekeres, A. Szenes, B. Bánhelyi, T. Csenedes and G. Szabó, „Optimized Superconducting Nanowire Single Photon Detectors to Maximize Absorptance,” *Progress in Electromagnetics Research B* vol. 65, pp. 81-108, 2016.

<https://doi.org/10.2528/PIERB15090904>

IF: 1,500 (SJR indikátor: Q3)

[O12] M. Csete, G. Szekeres, A. Szenes, A. Szalai and G. Szabó, „Plasmonic structure integrated single-photon detector configurations to improve absorptance and polarization contrast,” *Sensors* vol. 15, no. 2, pp. 3513-3539, 2015. <https://doi.org/10.3390/s150203513>

IF: 2,677 (SJR indikátor: Q2)

Összesített IF: 47,557

Egyéb tudományos konferencia közlemények

(O) – előadás, **(P)** – poszter, * - előadó.

[O13] D. Vass, A. Szenes, B. Bánhelyi and M. Csete*, „Plasmonic nanoresonators embedded into active shells optimized for near-field and far-field stimulated emission,” in *7th NANO Boston Conference, 18-20 Oct. 2021. Virtual (O)*. https://nanoworldconference.com/nwc-2021/pdfs/NWC-2021_Abstract-Book.pdf

[O14] M. Csete*, A. Szenes, B. Bánhelyi, D. Vass, E. Tóth, O. Fekete, I. Papp, T. S. Biró, L. P. Csernai, N. Kroó (NAPLIFE Collaboration), „Uniform energy deposition via optimized passive and active plasmonic nanoresonator distributions,” in *7th NANO Boston Conference, 18-20 Oct. 2021. Virtual (O)*.

https://nanoworldconference.com/nwc-2021/pdfs/NWC-2021_Abstract-Book.pdf

[O15] M. Csete*, D. Vass, A. Szenes and B. Bánhelyi, „Superradiance of broken-symmetry SiV diamond color center arrays in concave plasmonic nanoresonators,” in *6th NANO Boston Conference, 07-09 Dec. 2020. Virtual* (O). <https://nanoworldconference.com/nwc-2020/home.php>

[O16] M. Csete*, A. Szenes, D. Maráczai and B. Bánhelyi, „Plasmonic grating integrated polarization insensitive single-photon detectors,” in *6th NANO Boston Conference, 07-09 Dec. 2020. Virtual* (O). <https://nanoworldconference.com/nwc-2020/home.php>

[O17] B. Tóth, A. Szenes, M. Dávid, B. Bánhelyi, T. Csendes and M. Csete*, „Polarization Insensitive High Detection Efficiency via Single-photon Detectors Based on Two-dimensional Plasmonic Grating Integrated into a Crossed Absorbing Nanowire Pattern,” in *Progress In Electromagnetics Research Symposium, 17 – 20 June 2019. Rome, Italy* (O). <http://piers.org/piers2019Rome/files/FinalProgram.pdf>

[O18] D. Vass, A. Szenes, B. Bánhelyi, T. Csendes and M. Csete*, „Superradiance Achievable via SiV Color Centers in Broken-symmetry and Symmetrical Arrays in Ellipsoidal Core-shell Plasmonic Nanoresonators,” in *Progress In Electromagnetics Research Symposium, 17 – 20 June 2019. Rome, Italy* (O). <http://piers.org/piers2019Rome/files/FinalProgram.pdf>

[O19] B. Tóth, A. Szenes*, B. Bánhelyi, T. Csendes and M. Csete, „Plasmonic structure integrated superconducting nanowire single-photon detectors to maximize singlet oxygen luminescence detection efficiency,” *SPP9 conference, 26 – 31 May, 2019. Copenhagen, Denmark* (P). http://spp9.dk/Full-Program_SPP9.pdf

[O20] D. Vass, A. Szenes*, B. Bánhelyi, T. Csendes and M. Csete, „Superradiance achievable via diamond color centers in symmetrical and broken-symmetry arrays in spherical core-shell plasmonic nanoresonators,” *SPP9 conference, 26 – 31 May, 2019. Copenhagen, Denmark* (P). http://spp9.dk/Full-Program_SPP9.pdf

[O21] M. Csete, A. Szenes*, B. Tóth, B. Bánhelyi, T. Csenedes and G. Szabó, „Plasmonic structure integrated superconducting nanowire singlephoton detectors optimized to read out quantum information,” in *15th international conference of Near-field Optics and Nanophotonics (NFO-15)*, 26-31 August 2018. Troyes, France (P).
http://nfo15.utt.fr/doc/NFO15_Poster_Abstract.pdf

[O22] M. Csete*, A. Szenes, B. Tóth, G. Szabó, B. Bánhelyi and T. Csenedes, „Plasmonic Structure Integrated Superconducting Nanowire Single-Photon Detectors for Transferring Specific Quantum Information,” in *IEEE Research and Applications of Photonics In Defense Conference (RAPID) 22-24 Aug. 2018. Miramar Beach, FL, USA* (O). paper in ISBN: 978-1-5386-5349-4, pp. 1-4.
<https://doi.org/10.1109/RAPID.2018.8509009>

[O23] M. Csete*, A. Szenes, B. Tóth, B. Bánhelyi, T. Csenedes and G. Szabó, „Plasmonic structure integrated superconducting nanowire single-photon detectors for quantum information processing,” *Advanced Photonics 2–5 July 2018. Zürich, Switzerland* (P). paper in ISBN: 978-1-943580-43-9.
<https://doi.org/10.1364/BGPPM.2018.JTu5A.22>.

[O24] M. Csete, A. Szenes, D. Vass*, B. Bánhelyi, T. Csenedes, G. Szabó, “Diamond color centers fluorescence enhancement via plasmonic nanoresonator dimers,” *Nanolight conference, 11 – 16 Mar. 2018. Benasque, Spain* (P).
<https://www.benasque.org/2018nanolight/>

[O25] M. Csete*, A. Szenes, D. Marácz, B. Bánhelyi, T. Csenedes and G. Szabó, „Optimized Plasmonic Structure Integrated Superconducting Nanowire Single-photon Detectors For Quantum Information Processing Applications,” *NanoWorld conference 03 – 05 April 2017, Newton, MA, USA*. (O).
http://jnanoworld.com/nwc/pdfs/NWC-2017_Program.pdf

[O26] M. Csete*, A Somogyi, A. Szenes, E. Tóth, G. Veszprémi, L. Zs. Szabó, E. Csapó, D. Ungor, B. Bánhelyi, T. Csenedes, G. Szabó and I. Dékány, „Plasmon enhanced fluorescence bio-sensing via optimized nanorod and alloy sphere based configurations,” *Quantum Nanophotonics*, 26 Feb. – 03 Mar. 2017. Benasque, Spain. (P). <https://www.benasque.org/2017quantumnanophotonics/>

[O27] T. Csenedes*, B. Bánhelyi, M. Csete, D. Zombori, G. Szabó and A. Szenes, „Parallel Implementation of GLOBAL with Applications to Nanophotonical Detector Development,” in *XIII. Workshop on Global Optimization*, 4-8 Sep. 2016. Braga, Portugal (O). paper in ISBN: 978-989-20-6764-3, pp. 159-162. <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/42944/1/Proceedings%20GOW16.pdf>

[O28] M. Csete*, A. Szenes, D. Vass, B. Bánhelyi, T. Csenedes and G. Szabó, „Plasmon Enhanced Fluorescence Characteristics Government by Selecting the Right Objective Function,” *COMSOL conference*, 03 – 05 Oct. 2016. Boston, MA, USA (O). paper in <https://www.comsol.com/paper/plasmon-enhanced-fluorescence-characteristics-government-by-selecting-the-right--64931>

[O29] M. Csete, A. Szenes, D. Maráczsi, B. Bánhelyi, T. Csenedes and G. Szabó, „Plasmonic structure integrated single-photon detectors for absorptance and polarization contrast maximization,” in *Tech Connect World*, 22-25 May 2016. Washington DC, USA. paper in ISBN 978-0-9975-1173-4, 259-262, vol. 4, pp. 259-263. <https://briefs.techconnect.org/papers/plasmonic-structure-integrated-single-photon-detectors-for-absorptance-and-polarization-contrast-maximization/>

[O30] M. Csete*, A. Szenes, D. Maráczsi, B. Bánhelyi, T. Csenedes and G. Szabó, „Plasmonic structure integrated single-photon detectors to maximize polarization contrast and polarization independent absorptance,” in *Nanolight Conference*, 06-12 Mar. 2016. Benasque, Spain (P). <https://www.benasque.org/2016nanolight/>

[O31] M. Csete*, A. Szenes, G. Szekeres, B. Bánhelyi, T. Csenedes and G. Szabó, „Modeling Plasmonic Structure Integrated Single-Photon Detectors to Maximize Polarization Contrast,” in *Comsol Conference*, 7-9 Oct. 2015. Boston, MA, USA (O).

<https://www.comsol.no/paper/modeling-plasmonic-structure-integrated-single-photon-detectors-to-maximize-pola-29371>

[O32] M. Csete*, G. Szekeres, A. Szenes, B. Bánhelyi, T. Csenedes, G. Szabó, „Optimization of Plasmonic Structure Integrated Single-photon Detector Designs to Enhance Absorptance,” in *Photonic Networks and Devices 27 June – 01 July. 2015. Boston, MA, USA (P)*. paper in ISBN: 978-1-55752-000-5,

<https://doi.org/10.1364/IPRSN.2015.JM3A.30>

[O33] M. Csete*, G. Szekeres, B. Bánhelyi, A. Szenes, T. Csenedes and G. Szabó, „Optimization of plasmonic structure integrated single-photon detector designs,” in *SPP7 conference*, 31 May – 5 June, 2015. Jerusalem, Israel. (P).

<https://events.eventact.com/programview/PostersOverview.aspx?Event=16675&Agenda=8719&Session=25101>

[O34] M. Csete*, G. Szekeres, B. Bánhelyi, A. Szenes, T. Csenedes and G. Szabó, „Optimized plasmonic structure integrated single-photon detectors for quantum information processing,” in *Quantum Plasmonics*, 8-14 Mar. 2015. Benasque, Spain (P).

<https://www.benasque.org/2015quantumplasmonics/>

[O35] M. Csete*, G. Szekeres, A. Szenes, B. Bánhelyi, T. Csenedes and G. Szabó, „Methods to optimize plasmonic structure integrated single-photon detector designs,” in *Comsol Conference 8-10 Oct. 2014. Boston, MA, USA (O)*. paper in

<https://www.comsol.com/paper/methods-to-optimize-plasmonic-structure-integrated-single-photon-detector-design-19611>

[O36] G. Szekeres, A. Szenes, G. Szabó and M. Csete*, „Improvement of infrared single-photon detectors absorptance and polarization-contrast via plasmonic structure configurations,” in *13th NFO Conference*, 31 Aug. – 04 Sep. 2014. Salt Lake City, Utah, USA (P). <http://www.nfo13.org/>

[O37] G. Szekeres, A. Szenes, G. Szabó and M. Csete*, „Absorptance and polarization-contrast improvement via plasmonic structure integrated infrared single-photon detector configurations,” *Nanolight*, 02-08 Mar. 2014. *Benasque, Spain* (O).

<http://benasque.org/2014nanolight/cgi-bin/talks/allprint.pl>

[O38] G. Szekeres, A. Szenes and M. Csete*, „Plasmon enhanced single-photon detection,” in *SPIE NanoScience + Engineering*, 25 Aug. 2013. *San Diego, California, USA* (P). paper in Proc. SPIE 8809, Plasmonics: Metallic Nanostructures and Their Optical Properties XI, vol. 8809, p. 88092Y <https://doi.org/10.1117/12.2024572>

[O39] G. Szekeres, Á. Sipos, A. Szenes, M. Csete*, “Improvement of infrared single-photon detectors absorptance via grating anomalies on integrated plasmonic structures,” in *Progress In Electromagnetics Research Symposium*, 12-15 Aug. 2013. *Stockholm, Sweden* (O). piers.org/piers2013Stockholm/files/FinalProgram20130806.pdf

[O40] M. Csete, A. Szenes*, D. Maráczsi, B. Bánhelyi, T. Csendes and G. Szabó, „Plazmonikus struktúrákkal integrált egyfoton detektorok az abszorpció, polarizáció kontraszt és polarizáció független abszorpció maximalizálására,” in *Kvantumelektronika 2018: VIII. Szimpózium a hazai kvantumelektronikai kutatások eredményeiről* 15. June 2018. *Budapest, Hungary* (P).

https://fat.physics.bme.hu/kvantumelektronika_2018

[O41] G. Szekeres, A. Szenes, G. Szabó and M. Csete, „Plazmonikus struktúrákkal integrált infravörös egy-foton detektorok abszorpciója és polarizáció-kontrasztja,” in *Kvantumelektronika 2014: VII. Szimpózium a hazai kvantumelektronikai kutatások eredményeiről*, 28. Nov. 2014. *Budapest, Hungary*. paper in pp. P58-P59.

<http://corvina.tudaskozpont-pecs.hu/WebPac/CorvinaWeb?action=onelong&showtype=longlong&showmenu=yes&recnum=928183>

Társszerzői nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom arról, hogy Szenes András László „Fényemisszió plazmonikus erősítése” című doktori értekezéseinek 1., 2., 3. és 4. tézispontjaiban szereplő, az alábbi cikkekben közösen publikált eredmények elérésében a jelölt szerepe meghatározó volt. Ezeket az eredményeket korábban nem használtam tudományos fokozat megszerzésére, és ezt a jövőben sem teszem.

- [T1] A. Szenes, B. Bánhelyi, L. Zs. Szabó, G. Szabó, T. Csenedes and M. Csete, „Enhancing diamond color center fluorescence via optimized plasmonic nanorod configuration,” *Plasmonics* vol. 12, no. 4, pp. 1263–1280, 2017.
- [T2] A. Szenes, B. Bánhelyi, L. Zs. Szabó, G. Szabó, T. Csenedes and M. Csete, „Improved emission of SiV diamond color centers embedded into concave plasmonic core-shell nanoresonators,” *Sci. Rep.* vol. 7, p. 13845, 2017.
- [T3] A. Szenes, B. Bánhelyi, T. Csenedes, G. Szabó and M. Csete, „Enhancing diamond fluorescence via optimized nanorod dimer configurations,” *Plasmonics* vol. 13, pp. 1977-1985, 2018.
- [T4] A. Szenes, D. Vass, B. Bánhelyi, G. Szabó and M. Csete, „Enhancing color center fluorescence via optimized configurations of diamond - gold and silver core-shell type nanoresonators,” in preparation.

Szeged, 2022. augusztus 31.

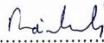

.....
Dr. Csete Mária

Társszerzői nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom arról, hogy Szenes András László „Fényemisszió plazmonikus erősítése” című doktori értekezéseinek 1., 2., 3. és 4. tézispontjaiban szereplő, az alábbi cikkekből közösen publikált eredmények elérésében a jelölt szerepe meghatározó volt. Ezeket az eredményeket korábban nem használtam tudományos fokozat megszerzésére, és ezt a jövőben sem teszem.

- [T1] A. Szenes, B. Bánhelyi, L. Zs. Szabó, G. Szabó, T. Csentes and M. Csete, „Enhancing diamond color center fluorescence via optimized plasmonic nanorod configuration,” *Plasmonics* vol. 12, no. 4, pp. 1263–1280, 2017.
- [T2] A. Szenes, B. Bánhelyi, L. Zs. Szabó, G. Szabó, T. Csentes and M. Csete, „Improved emission of SiV diamond color centers embedded into concave plasmonic core-shell nanoresonators,” *Sci. Rep.* vol. 7, p. 13845, 2017.
- [T3] A. Szenes, B. Bánhelyi, T. Csentes, G. Szabó and M. Csete, „Enhancing diamond fluorescence via optimized nanorod dimer configurations,” *Plasmonics* vol. 13, pp. 1977-1985, 2018.
- [T4] A. Szenes, D. Vass, B. Bánhelyi, G. Szabó and M. Csete, „Enhancing color center fluorescence via optimized configurations of diamond - gold and silver core-shell type nanoresonators,” in preparation.

Szeged, 2022. augusztus ...



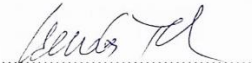
.....
Dr. Bánhelyi Balázs

Társszerzői nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom arról, hogy Szenes András László „Fényemisszió plazmonikus erősítése” című doktori értekezéseinek 1., 2., 3. és 4. tézispontjaiban szereplő, az alábbi cikkekben közösen publikált eredmények elérésében a jelölt szerepe meghatározó volt. Ezeket az eredményeket korábban nem használtam tudományos fokozat megszerzésére, és ezt a jövőben sem teszem.

- [T1] A. Szenes, B. Bánhelyi, L. Zs. Szabó, G. Szabó, T. Csendes and M. Csete, „Enhancing diamond color center fluorescence via optimized plasmonic nanorod configuration,” *Plasmonics* vol. 12, no. 4, pp. 1263–1280, 2017.
- [T2] A. Szenes, B. Bánhelyi, L. Zs. Szabó, G. Szabó, T. Csendes and M. Csete, „Improved emission of SiV diamond color centers embedded into concave plasmonic core-shell nanoresonators,” *Sci. Rep.* vol. 7, p. 13845, 2017.
- [T3] A. Szenes, B. Bánhelyi, T. Csendes, G. Szabó and M. Csete, „Enhancing diamond fluorescence via optimized nanorod dimer configurations,” *Plasmonics* vol. 13, pp. 1977-1985, 2018.

Szeged, 2022. augusztus 23.


.....
Prof. Dr. Csendes Tibor

Társszerzői nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom arról, hogy Szenes András László „Fényemisszió plazmonikus erősítése” című doktori értekezéseinek 1., 2., 3. és 4. tézispontjaiban szereplő, az alábbi cikkekben közösen publikált eredmények elérésében a jelölt szerepe meghatározó volt. Ezeket az eredményeket korábban nem használtam tudományos fokozat megszerzésére, és ezt a jövőben sem teszem.

- [T1] A. Szenes, B. Bánhelyi, L. Zs. Szabó, G. Szabó, T. Csenedes and M. Csete, „Enhancing diamond color center fluorescence via optimized plasmonic nanorod configuration,” *Plasmonics* vol. 12, no. 4, pp. 1263–1280, 2017.
- [T2] A. Szenes, B. Bánhelyi, L. Zs. Szabó, G. Szabó, T. Csenedes and M. Csete, „Improved emission of SiV diamond color centers embedded into concave plasmonic core-shell nanoresonators,” *Sci. Rep.* vol. 7, p. 13845, 2017.
- [T3] A. Szenes, B. Bánhelyi, T. Csenedes, G. Szabó and M. Csete, „Enhancing diamond fluorescence via optimized nanorod dimer configurations,” *Plasmonics* vol. 13, pp. 1977-1985, 2018.
- [T4] A. Szenes, D. Vass, B. Bánhelyi, G. Szabó and M. Csete, „Enhancing color center fluorescence via optimized configurations of diamond - gold and silver core-shell type nanoresonators,” in preparation.

Szeged, 2022. augusztus 11.

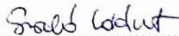

Prof. Dr. Szabó Gábor

Társszerzői nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom arról, hogy Szenes András László „Fényemisszió plazmonikus erősítése” című doktori értekezéseinek 1., 2. és 3. tézispontjaiban szereplő, az alábbi cikkeken közösen publikált eredmények elérésében a jelölt szerepe meghatározó volt. Ezeket az eredményeket korábban nem használtam tudományos fokozat megszerzésére, és ezt a jövőben sem teszem.

- [T1] A. Szenes, B. Bánhelyi, L. Zs. Szabó, G. Szabó, T. Csendes and M. Csete, „Enhancing diamond color center fluorescence via optimized plasmonic nanorod configuration,” *Plasmonics* vol. 12, no. 4, pp. 1263–1280, 2017.
- [T2] A. Szenes, B. Bánhelyi, L. Zs. Szabó, G. Szabó, T. Csendes and M. Csete, „Improved emission of SiV diamond color centers embedded into concave plasmonic core-shell nanoresonators,” *Sci. Rep.* vol. 7, p. 13845, 2017.

Szeged, 2022. augusztus 29.


.....
Dr. Szabó Lóránt Zsolt

Társszerzői nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom arról, hogy Szenes András László „Fényemisszió plazmonikus erősítése” című doktori értekezéseinek 4. tézispontjaiban szereplő, az alábbi cikkeken közösen publikált eredmények elérésében a jelölt szerepe meghatározó volt. Ezeket az eredményeket korábban nem használtam tudományos fokozat megszerzésére, és ezt a jövőben sem teszem.

- [T4] A. Szenes, D. Vass, B. Bánhelyi, G. Szabó and M. Csete, „Enhancing color center fluorescence via optimized configurations of diamond - gold and silver core-shell type nanoresonators,” in preparation.

Szeged, 2022. augusztus 31.


.....
Vass Dávid