

Beszámoló az OTKA K 84335 sz. pályázatról

Korábban folyamatban levő munkánk eredményeként bakteriális színe fehérjék nemlineáris optikai tulajdonságait kihasználó integrált optikai kapcsolót hoztunk létre: fényrel vezérelt fénykapcsolónk igen gyors, ps-nál gyorsabb kapcsolásra képes.

*Fabian L, Heiner Z, Mero M, Kiss M, Wolff EK, Ormos P, Osvay K, Der A: **Protein-basedultrafastphotonicswitching**, OPTICS EXPRESS 19: 18861-18870, 2011*

A baktériumok mozgásának vizsgálatára vonatkozó kísérleti munkánkban úgy találtuk, hogy először a mikrofluidikai környezetre optimalizált optikai mikromanipulációs és mikrospektroszkópai eljárások fejlesztésére van szükség. Kialakítottunk néhány kísérleti módszert, amellyel a baktérium méretű testeknek, illetve mozgásuknak nagyérzékenységű vizsgálatára nyílik lehetőség. Kísérleteinkben mindig döntő szerepet kap a kétfotonos gerjesztésű fotopolimerizáción alapuló mikrostruktúra építés, a mikrostruktúrák felületének szelektív kezelése, illetve manipulálásuk komplex holografikus optikai csipeszben.

Egyik kiemelt cél baktérium sokaságok együttes mozgásának vizsgálata, a kollektív sajátságok felderítése. Úgy találtuk, nagyon hasznos lenne egy modellrendszer kialakítása, amelyben baktériumok jellemző méretével rendelkező mesterséges objektumok mozognak. Tekintettel a pontosan beállítható kísérleti körülményekre, a fizikai leírásra ilyen rendszer optimális lehetőséget nyújtana. A koncepcióban a mozgó testeket fotopolimerizációval állítjuk elő, a mozgáshoz szükséges energiát a fény szolgáltatja. Nagyon lényeges sajátsága a rendszernek, hogy a fénynek a mozgás irányát nem szabad befolyásolnia – ez alapvetően különbözik minden eddigi optikai mozgatástól, mert ott vagy a csapdát képező fókuszot mozgatjuk, és vele mozog a céltest, vagy a fény haladási irányában fejt ki erőt, saját irányában mozgatja a testet. Néhány lehetséges megoldás közül olyan verziót választottunk, amelyben a testek vízszintes felületen két dimenzióban mozognak, a hajtóerőt szolgáltató fény pedig felülről, függőlegesen éri a mintateret. A mozgó részecskék felülről nézve ellipszis, oldalról pedig ék alakúak. Így felülről ferde sík határolja. A függőlegesen felülről érkező fény oldalra verődve vízszintes impulzust ad át a testnek, mégpedig olyan irányút, ahogy a test éppen állt. Így a baktériumok mozgását jól modellező rendszert fejlesztettünk, a bemutatató közleményt jól fogadták.

*Búzás A., Kelemen L., Mathesz A., Oroszi L., Vizsnyiczai G., Vicsek T., and Ormos P.: **Light sailboats: Laser driven autonomous microrobots**, Appl. Phys. Lett. 101, 041111 (2012), 2012*

Kialakítottunk egy gördülő mozgással haladó testekkel működő hasonló modellrendszert is, ráadásul ennél a fényrel hajtott forgás fizikájára egészen újszerű feltételeket találtunk, új, eddig nem ismert fizikai jelenséget fedeztünk fel: kollimált, impulzusnyomatékot nem hordozó fény szóró testtel kölcsönhatva nem gerjeszthet forgást, forgatandó testen történő szórás két dimenziós. Az erről írt közlemény jelenleg bírálat alatt áll.

A baktériumok mozgásának modellezése témakörben további érdekes eredményünk a hidrodinamikai szinkronizáció jelenségével foglalkozik. Korábban felvetették, hogy a

csillókkal, flagellákkal mozgó baktériumok esetében a csapkodó szervecskék szinkronizált mozgásának az oka a köztük fellépő hidrodinamikai kölcsönhatás. Ezt célszerűen élettelen modellrendszeren lehet vizsgálni, ezt megtettük. Létrehoztunk néhány mikron méretű fényvel hajtott propellereket, ezeket holografikus optikai csipeszben egymáshoz közel forgásba hoztuk. Megállapítottuk, hogy létrejön közöttük a hidrodinamikai kölcsönhatáson alapuló szinkronizáció. A jelenséget precízen kimérve, pontos fizikai jellemzését adtuk a jelenségnek. További kísérletek folynak a rendszeren a jelenség egyéb részleteinek tanulmányozására.

*Di Leonardo R, Buzas A, Kelemen L, Vizsnyiczai G, Oroszi L, Ormos P: **Hydrodynamic Synchronization of Light Driven Microrotors**, PHYSICAL REVIEW LETTERS 109:(3) Paper 034104., 2012*

Központi kérdés a mikrofluidikai környezetben levő baktériumok lokális spektroszkópiai vizsgálata: ezzel például a sejtfelületen különböző helyen lokalizált fehérjék kimutatása lehetséges, illetve a „quorumsensing”-gel kapcsolatos aktivációs folyamat genetikailag módosított fluoreszcens szenzoros kimutatásának pontos lokalizációja valósítható meg. Alapvető módszereinket: az optikai mikromanipulációt illetve a fotopolimerizációs struktúraépítést alkalmaztuk e munkákban. Kétfél megközelítést alkalmaztunk.

Először holografikus optikai csapdában mozgatható fényvezetőt készítettünk: a fényvezetőbe világítva a tengellyel merőleges irányban is eltéríthetjük és mikrométernél jobb pontossággal pozicionálhatjuk a lokális gerjesztést megvalósító fényt. Az összetett struktúra komponensei egyrészt az egyik végén kiszélesedő, 90 fokban meghajlított fényvezető (ez a gerjesztő fény eltérítésére szolgál), illetve egy négy darab mikrométeres gömbben végződő hordozó struktúra (ez a szerkezet holografikus csapdában teljes 6 dimenziós pozicionálást tesz lehetővé).

*Palima D., A. R. Bañas, G. Vizsnyiczai, L. Kelemen, P. Ormos, and J. Glückstad: **Wave-guided optical waveguides**, Optics Express 20: 2004-2014, 2012*

*Palima, D; Banas, AR; Vizsnyiczai, G; Kelemen, L; Aabo, T; Ormos, P; Glückstad J: **Optical forces through guided light deflections**, Optics Express, Vol. 21 Issue 1, pp.581-593, 2013*

A másik lokális gerjesztést lehetővé tevő eszköz bonyolultabb rendszer, de felhasználása is perspektivikusabb: ebben a lokális gerjesztést fém nanorészecskék lokális térerő-erősítése eredményezi. Ebben a megoldásban is létrehozunk egy holografikus csapdában teljes körűen mozgatható struktúrát, az aktív komponens pedig egy fém nanorészecskékkel bevont túszerű hegy: ez hozza létre a lokális gerjesztést, ha a vizsgálandó terület közelébe juttatjuk. Ehhez a módszerhez ki kellett dolgoznunk a fotopolimerizált struktúrák szelektív bevonását arany nanorészecskékkel. A felületi aktiválás, majd bevonás kidolgozása egyébként is rendkívül fontos: a legtöbb olyan alkalmazásban, ahol az optikai csipeszben mozgatott fotopolimerizáltmikroeszközök biológiai alkalmazását akarjuk megvalósítani, szükség van a felület specifikus módosítására, aktiválására. Kidolgoztuk ezért a felület kémiai módosításának módszerét, illetve az arany nanorészecskékkel való bevonását. A fémmel bevont struktúrák által kiváltott fluoreszcencia gerjesztés erősítést kimutattuk, jellemeztük. E módszer további munkáinkban kulcsfontosságú.

Akebote, B. L., Jacak, J., Schuetz, G. J., Csanyi, E.; Szegletes, Z., Ormos, P., Kelemen, L.: *Aminosilane-based functionalization of two-photonpolymerized 3D SU-8 microstructures*, *European Polymer Journal* 48 1745-1754 (2012), 2012

Elméleti modellszámításainkban baktériumközösségek kommunikációját vizsgáltuk. Megállapítottuk, hogy baktériumközösségekben az egyedek közötti jelátviteli folyamatok dinamikája szabályozza a populáció stabilitását, megfelelő jelzők alkalmazásával közösségek meg tudják védeni magukat a támadásoktól. Azt gondoljuk, a kidolgozott ágens alapú modellek hasznosak lehetnek bonyolult közösségek viselkedésének értelmezésében is.

D. Bihary, A Kerényi, Z. Gelencsér, S Netotea, A Kertész-Farkas, V. Ventura, S. Pongor: *Simulation of communication and cooperation in multispecies bacterial communities with an agent based model*, *Scalable Computing: Practice and Experience*, Vol 13, pp. 21-28, 2012

Gelencsér, Z.; Choudhary, K.S.; Coutinho, B.G.; Hudaiberdiev, S.; Galbáts, B.; Venturi, V.; Pongor, S.: *Classifying the topology of AHL-driven quorum sensing circuits in proteobacterial genomes*, *Sensors*, 12(5), 5432-5444, 2012

Gelencsér, Z.; Galbáts, B.; Gonzalez, J.F.; Choudhary, K.S.; Hudaiberdiev, S.; Venturi, V.; Pongor, S.: *Chromosomal arrangement of AHL-driven quorum sensing circuits in Pseudomonas*, *ISRN Microbiology*, Volume 2012, Article ID 484176, 2012

Ádám Kerényi, Dóra Bihary, Vittorio Venturi, Sándor Pongor: *Stability of Multispecies Bacterial Communities: Signaling Networks May Stabilize Microbiomes*, *PLOS One*, 2013

Kísérleteinkben nem jutottunk ez a nagyszámú baktériumból álló közösségek direkt vizsgálatáig, ez a közeljövő feladata, de úgy gondoljuk, az elért eredmények, azon kívül, hogy további kísérleteket alapoznak meg, értékesek a baktériumok vizsgálata terén.

A munkából megjelent közlemények együttes impakt faktora: 28,5

A megjelent közleményekre e beszámolóig 100-nál több idézet érkezett.

2015. április.2.

Ormos Pál