

*Nyerki Emil,^{1,2} Szabó Tibor,² Magyar Melinda,²
Hajdu Kata,² Nagy László²*

A JÖVŐ ANYAGAI A BIOINSPIRÁLT ANYAGOK:
A PORÓZUS SZILÍCIUM ÉS A SZÉN NANOCSSÖVEK

¹ SZTE Eötvös Loránd Kollégium

² SZTE TTIK-ÁOK Orvosi Fizikai és Orvosi Informatikai Intézet,
Biofizika Tanszék

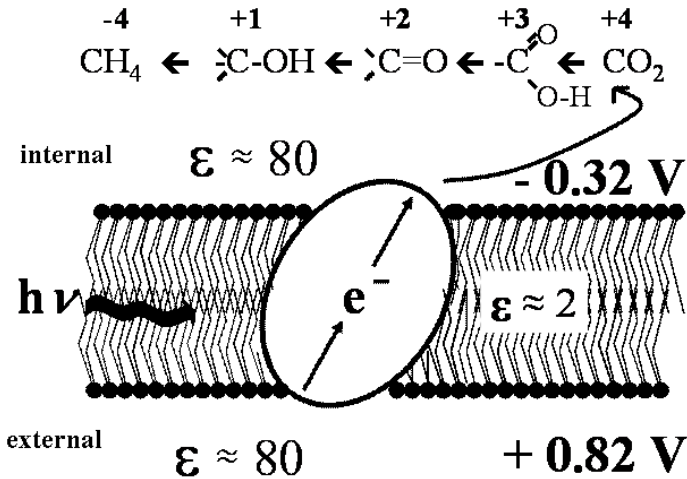
Bevezetés

Napjainkban a tudomány, a technológia és a mindennapi élet egyre több területén az a cél, hogy minél gyorsabb, hatékonyabb berendezéseket hozzanak létre és nagyon sokszor követelmény a miniaturizált kivitelezés. A nanotechnológia mára már nem futurisztikus, hanem egy jól működő és rohamosan fejlődő tudományág. Nanoanyagok gyakran jelennek meg interdiszciplináris kutatásokban, az autógyártástól a gyógyszeriparig. Emellett hatalmas potenciál van az ún. bioinspirált anyagokban, amelyeknél a szerkezet, vagy a működés ötletét a természetből vesszük. A biológiai rendszerek által alkalmazott technikai megoldások és a technika vívmányainak a biológiai rendszerekben való alkalmazására számtalan jobbnál jobb példát tudnánk említeni, a szerveződés legkülönbözőbb szintjein. Ezek közül is különös figyelmet érdemel a napenergia-hasznosítás. A földi élet kialakulása és jelenlegi formájának fenntartása szempontjából meghatározó szerepe van a fotoszintetikus fényenergia-átalakításnak. A növények a saját életműködésükhöz (rajtuk keresztül az egész bioszféra fenntartásához) szükséges energiát a napfény energiájának átalakításából nyerik a fotoszintézis során, amelyben a gerjesztett elektron energiáját kémiai (oxidációs és redukciós) munka végzésére fordítják (*1. ábra*). Csábítóan tűnik (és elvileg nem lehetetlen) az, hogy az elektron többletenergiáját másfajta hasznos munkára, pl. elektromos munkavégzésre használjuk. Az ún. bioinspirált anyagok egyik legígéretesebb és legnyilvánvalóbb alkalmazása lehet a fotoszintetikus folyamatok mesterséges körülmények között történő megvalósítása. A bioinspirált anyagok egyik legfontosabb fajtája az ún. biokompozitok, hiszen ezekben az anyagi rendszerekben mind a biológiai anyag, mind pedig a hordozó mátrix tulajdonságai vegyülnek, sőt új tulajdonságok is megjelenhetnek.

Bioinspirált anyagok

Különös helyet foglalnak el a biokompozitok között az ún. bio-nanokompozitok. A számos hordozó anyag közül a figyelem középpontjába kerültek a szén nanocsövek (CNT – Carbon NanoTubes), hiszen rengeteg jó tulajdonságuk van, könnyen alkalmazhatóak a tudomány és technika gyakorlatilag bármely területén. A másik, egyre több figyelmet érdemlő anyag a porózus szilícium (PSi – Porous Silicon), melynek egyik legjobb tulajdonsága, hogy biokompatibilis, tehát élőlényekben semmilyen kárt nem tesz, így például felhasználható lehet robotprotézisek csatlakozó felületének készítése vagy különböző gyógyszerhordozó anyagok előállítása során.

A kutatócsoportunkban jelenleg többféle hordozó anyaghoz (köztük a szén nanocsövekhez és porózus szilíciumhoz is) rögzítünk különböző, redox aktivitással rendelkező fehérjéket. Az egyik kutatási irány a fényérzékeny bio-nanokompozitok előállítása fotoszintetikus reakciócentrum fehérjékből (RC) és a fent említett szerves hordozókból. Ehhez a *Rhodobacter sphaeroides* nevű fotoszintetikus bíborbaktériumból tisztított reakciócentrum fehérjét rögzítjük különböző módszerekkel a szerves hordozókhoz. A rögzítés történhet egyszerű fizikai, peptid-mediált vagy kémiai kötéssel. A legegyszerűbb módszer a fizikai szorpció, amikor a fehérje és a hordozó közötti fizikai (elektrosztatikus) kölcsönhatás létesíti a kötést. Egy másik lehetőség szerint ismét fizikai a kölcsönhatás, de a hordozónak megfelelően kifejlesztett specifikus peptid erős felületi fizioszorpciója közvetít a fehérje és a hordozó között. A harmadik módszer során kémiai kölcsönhatást hozunk létre a hordozó és a fehérje specifikus vagy nem specifikus csoportjai között. Ez a kémiai kötés történhet közvetlenül a fehérje természetesen meglévő (pl. amin-, vagy karboxil-) csoportjai között, vagy keresztkötőszerek (mint pl. 3-aminopropil-trietoxiszilán (APTES), vagy glutaraldehyd (GTA)) közvetítésével. Az elkészült bio-nanokompozit mintákon szerkezeti és funkcionális vizsgálatokat végzünk. [1,2]

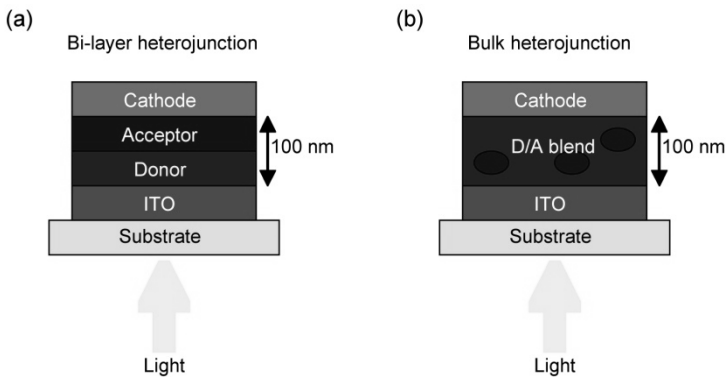


1. ábra: A fotoszintetikus reakciócentrum fehérje (az ábrán elliptoid alakkal jelölve) a napfény energiáját felhasználva a membrán (fekete telt korongok és a belőlük kiinduló pálcikák) egyik oldalán erősen oxidáló, a másik oldalán erősen redukáló körülményeket teremt.

Napenergiahasznosítás fotoszintetikus reakciócentrum kompozitokkal

Tekintettel arra, hogy a fotoszintetikus reakciócentrum (RC) fehérje igen nagy határfokkal alakítja át a napfény energiáját kémiai energiává, kihívást jelent a benne végbemenő folyamatok lemásolása és esetleges gyakorlati hasznosítása. Mivel a fosszilis energiahordozók minden kétséget kizáróan egyszer elfogynak, egyre nagyobb igény merül fel az emberekben, hogy a megújuló energiahordozókat hasznosítsák pl. fotovoltaiikus cellákban. Ezek jelentős része félvezető szilíciumkristályok segítségével tudja átalakítani a naptól érkező fotonokat elektromos árammá. Ezeknek a celláknak az a nagy hátránya, hogy igen költségesek, így támogatások nélkül csak igen kevesek számára érhető el. Emiatt a kutatókat nagyon foglalkoztatta és foglalkoztatja ma is, hogy hogyan lehetne olcsón hasznosítani a napfény energiáját. Az egyik, és úgy tűnik a legígéretesebbek közé tartozó megoldást az organikus napcellák jelentették/jelentik. Ezek olyan optoelektronikai rendszerek, amelyek hasonlóan működnek, mint szilícium alapú társaik, viszont félvezető kristályok helyett félvezető szerves vegyületek találhatóak bennük.

Kezdetben az organikus cellák kétrétegűek voltak, amelyek közül az elsőt 1986-ban készítették el, amelyben a két réteget réz-ftalocianin (CuPC) és perilén alkot-ta. Ez tekinthető az organikus cellák ősének. Ezek az úgynevezett bi-layer heterojunction cellák [3]. A következő nagyobb előrelépés 1995-ban történt, amikor az aktív réteget poli(2-metoxi-5-(2'-etil-hexiloxi)-1,4-fenilénvinil (MEH-PPV) és fullerén (C60) kompozitja alkotta. Ezzel a cellával már két nagyságrenddel nagyobb hatásfokot tudtak elérni, mintha csak MEH-PPV polimer lett volna a cellában [4]. Az előbbi típusban az elektronakceptor és elektrondonor molekulák két különböző rétegben találhatóak, innen ered a nevük is. Az utóbbi cellában a keverék úgynevezett „bulk heterojunction” (továbbiakban „heterojunction”) elrendezésben volt, amely azt jelenti, hogy az elektronakceptor és -donor moleku-lák egy adott közegben voltak, nem pedig különböző rétegekben. Az ilyen típusú rétegeknél a hatásfokot jelentősen csökkenti a gerjesztés után keletkező elektro-nok és lyukak rekombinációja. A 2. ábra jól szemlélteti a kétrétegű és a hetero-junction típusú cellák közötti különbséget.



2. ábra: Kétrétegű (bilayer) (a) és bulk-heterojunction (b) elrendezésű napcella sematikus ábrája [5].

Az általunk előállított minták a következőképpen épültek fel: az anód fém, in-dium-ón oxid, erre a rétegre elektrokémiai úton vittük fel a donor polimert, ami poli(3,4-etilén-dioxitiofén)-poli(sztirén-szulfonát) (PEDOT:PSS). Erre a rétegre cseppentettük rá a szén nanocsőből (CNT), reakciócentrum fehérjéből és poli-3-hexiltiofénből álló (P3HT) kompozitot. A P3HT és a PEDOT:PSS már elegendő lenne ahhoz, hogy fény hatására áramot termeljen a rendszer, viszont az RC fel

tudja ezt a hatást erősíteni. A CNT-P3HT kompozit viszont megnöveli a RC stabilitását.

Az elkészített minták fotokémiai/-fizikai működésének jellemzésére az alkalmazott feszültség függvényében a rajtuk átfolyó áram intenzitását mértük (áram/feszültség (I/V) karakterisztikák) megvilágítás nélkül, vagy megvilágítás alatt, szobahőmérsékleten. Kontrollként olyan mintákat használtunk, amelyeknek az aktív rétegébe nem építettük be a RC fehérjét.

Az I/V karakterisztikák felvételéhez az első minták esetében potenciosztátot (PGSTAT10), a későbbiekben pedig egy Keithley 2400-as típusú multimétert használtunk. A méréseket több napon keresztül végezve megállapítottuk, hogy a fehérjének szüksége van néhány napra ahhoz, hogy adaptálódjon az új környezetéhez az aktív rétegben.

Összegzés

Összefoglalásként elmondható, hogy sikeresen állítottunk elő bio-nanokompozitokat mind PSi segítségével, mind pedig komplex optoelektronikai rendszerekkel. A RC mindkét rendszerben fotokémiai/-fizikai aktivitást mutatott. A szerves napcella modelljéül szolgáló “szendvics struktúra” aktív rétegében alkalmazva a diódákra jellemző áram/feszültség karakterisztikát kölcsönzött a rendszernek.

Köszönetnyilvánítás

Vizsgálatainkat a következő kutatási pályázatok támogatják: Svájci-Magyar hozzájárulás (SH/7/2/20), TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0060, OTKA 81180 és 84133.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Hajdu K., Gergely Cs., Martin M., Zimányi L., Agarwal V., Palestino G., Hernádi K., Németh Z., Nagy L.; *Nanoscale Research Letters* **7**:400, 2012
- [2] Hajdu K., Gergely Cs., Martin M., Cloitre T., Zimányi L., Tenger K., Khoroshyy P., Palestino G., Agarwal V., Hernádi K., Németh Z., Nagy L.; *Langmuir* **28**, 11866–11873., 2012
- [3] Tang C.W.; Two-layer organic photovoltaic cell, *Applied Physics Letters* **48**, 183–185., 1986
- [4] Yu G., Gao J., Hummelen J. C., Wudl F., Heeger A. J.; *Science* **270**, 1789–1791., 1995
- [5] Kietzke T.; *Advances in Optoelectronics* **2007**, DOI: 10.1155/2007/40285, 2007