Biogén nanokristályok mágnességének vizsgálata és egydimenziós mágneses nanostruktúrák létrehozása biomimetikus szintézissel

Magnetic properties of biogenic nanocrystals, and biomimetic synthesis of one-dimensional magnetic nanostructures

Pósfai Mihály[1], Bereczk-Tompa Éva[1], Kovács András[2], Rafal Dunin-Borkowski[2], Tóth Balázs[3], Vonderviszt Ferenc[3]

[1]Pannon Egyetem, Föld és Környezettudományi Intézet, Veszprém

[2]Ernst Ruska-Centre for Microscopy and Spectroscopy with Electrons and Peter Grünberg Institute, Forschungszentrum Jülich, Germany

[3]Pannon Egyetem, Bio-nanotechnológiai és Műszaki Kémiai Kutatóintézet, Veszprém

Összefoglaló

A mágneses baktériumok sejtjeiben változatos méretű, alakú és elrendeződésű mágneses vas-oxid (magnetit, Fe_3O_4) nanokristályok képződnek. Emiatt a sejtek olyan modell rendszereknek tekinthetők, amelyekben a nanokristályok mágneses tulajdonságai bármilyen szintetikus rendszernél mélyrehatóbban tanulmányozhatók. Célunk a nanokristályok mágnességét meghatározó, egymással versengő hatások – doménméret, alak-anizotrópia, kristálytani anizotrópia, a kristályok közötti kölcsönhatások – hierarchiájának meghatározása az elektronholográfia módszerével. Egyes baktériumok különleges alakú, hosszúkás-csúcsos kristályokat szintetizálnak, amelyek többé-kevésbé rendezett láncokba rendeződnek a sejtekben. Ezen sejtek vizsgálata alapján megállapítottuk, hogy a nanokristályokban a mágneses indukció irányát elsősorban a lánc konfiguráció, azaz a kristályok közötti magnetosztatikus kölcsönhatások, majd másodsorban az alak-anizotrópia határozza meg. Mindkét tényező a lánccal párhuzamos mágneses momentum kialakulását segíti. A kristálytani anizotrópia nem befolyásolja jelentősen az indukció irányát.

A mágneses baktériumok nemcsak a nanokristályok mágnességének megértéséhez, hanem a biomimetikus kristályszintézishez is alkalmas modellt adnak. A baktériumokban a kristályképződés genetikailag meghatározott, a magnetit nanokristályok a „magnetoszóma membrán" felületén, mint templáton válnak ki. Ismertek olyan magnetoszóma membránfehérjék (MamI, Mms6), amelyek feltételezhetően kiváltják a magnetit kristálycsírák kicsapódását a membránon. Ezen fehérjék funkcionális részét génsebészeti technikákkal az önszerveződésre képes, filamentumokat alkotó flagellin fehérjébe építettük. A létrehozott fúziós fehérjéket flagellin gént nem hordozó *Salmonella* gazdasejtekben termeltettük, ezáltal olyan módosított filamentumokat létrehozva, melyek felületükön tartalmazzák a specifikus magnetitkötőhelyek ezreit. A mutáns filamentumokon kétféle eljárással – előre szintetizált magnetit nanokristályok hozzáadásával, illetve vas ionokat tartalmazó oldatból a magnetit kristálycsírák kicsapásával – magnetit nanorészecskéket kötöttünk meg. A létrehozott mágneses nanoszálak tulajdonságainak vizsgálata folyamatban van.

Summary

Magnetotactic bacteria synthesize in their cells magnetic iron oxide (magnetite, Fe_3O_4) nanocrystals with various shapes and arrangements, making them excellent model systems, unmatched by any synthetic system, for the study of nanocrystal magnetism. We wished to understand the hierarchy of competing effects on magnetism – exerted by particle size, shape anisotropy, magnetocrystalline anisotropy and magnetostatic interactions between particles – by obtaining magnetic induction maps using electron holography. We analyzed cells that produce chains of elongated, pointed magnetite nanocrystals, and found that interparticle interactions are most important, followed by particle shapes, in determining the direction of magnetic induction within the crystals. Both effects contribute to aligning the magnetic moment of the crystals parallel to the chain direction. Magnetocrytalline anisotropy plays a minor role in magnetite nanoparticle magnetism.

Magnetotactic bacteria are also useful as models for the biomimetic synthesis of magnetic nanostructures. Magnetite formation is under genetic control in magnetotactic bacteria, the crystals nucleate on the magnetosome membrane that serves as a template. Certain magnetosome membrane proteins are known (MamI, Mms6) to play a role in the controlled nucleation of magnetite. We created functionalized flagellar filaments with thousands of magnetite-binding sites on their surfaces by genetically engineering flagellin subunits to display the functional parts of MamI and Mms6. The mutant filaments were used for the templated nucleation and attachment of magnetite nanoparticles, resulting in magnetic nanofibers with special magnetic properties.

Ez a munka az ERA-CHEMISTRY NN-117642 és a BIONANO-GINOP-2.3.2-15-2016-00017 projekt támogatásával készült./ This research was supported by grants ERA-CHEMISTRY NN-117642 and BIONANO-GINOP-2.3.2-15-2016-00017.