

**Magnetit és greigit kristályláncok mágneses baktériumokban:
a mágneses mikroszerkezet és kristálymorfológia vizsgálata
elektron holográfia és tomográfia alkalmazásával**

Pósfai Mihály⁽¹⁾, Edward T. Simpson⁽²⁾, Takeshi Kasama^(3,2), Ryan K.K. Chong⁽²⁾,
Richard B. Frankel⁽⁴⁾, Rafal E. Dunin-Borkowski^(2,3)

(1)Veszprémi Egyetem, Föld- és Környezettudományi Tanszék, Veszprém

(2)Department of Materials Science and Metallurgy, University of Cambridge, UK

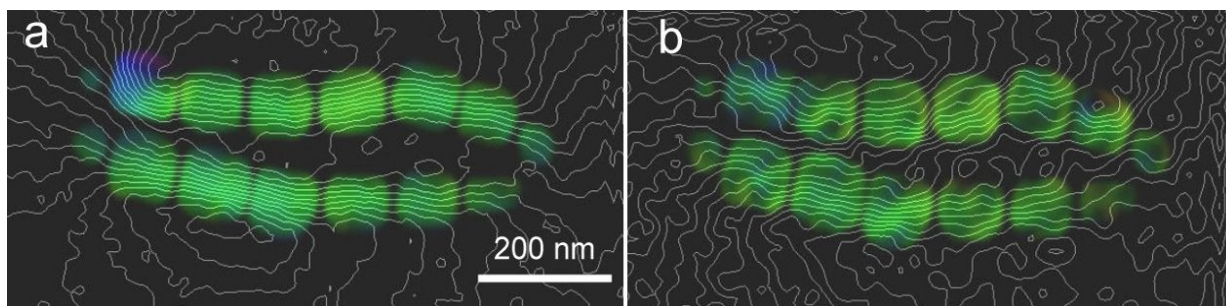
(3)Frontier Research System, The Institute of Physical and Chemical Research, Hatoyama, Japan

(4)Department of Physics, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, California, USA

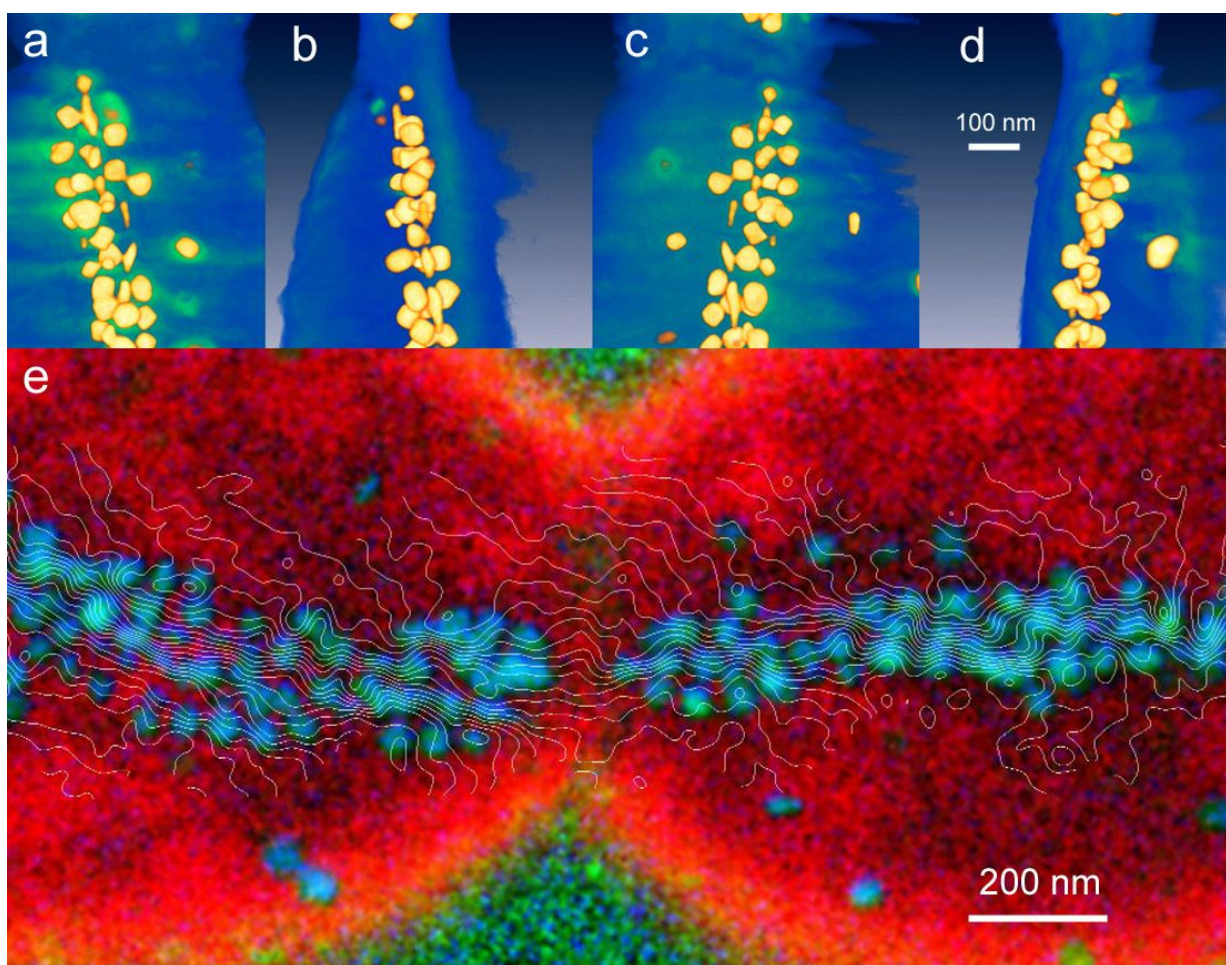
Mágneses nanorészecskék változatos térbeli elrendeződésű csoportjainak kollektív mágnességét többféle, egymással versengő hatás egyensúlya eredményezi. A részecskeméret és – morfológia, kristályszerkezet és –orientáció, a részecskék közötti távolság, valamint külső tényezők (mint a hőmérséklet és az alkalmazott mágneses tér) mind szerepet játszanak a mágneses tulajdonságok kialakításában. A mágneses baktériumok sejtjeiben lévő nanokristályok láncai olyan modell rendszereknek tekinthetők, melyekben vizsgálhatók azok az alapvető tényezők, amelyek az egymás mellett elhelyezkedő nanorészecskék mágneses tulajdonságait meghatározzák. Sejtjeikben magnetit (Fe_3O_4) és greigit (Fe_7S_8) kristályokat tartalmazó mágneses baktériumokat vizsgáltunk analitikai transzmissziós elektronmikroszkópos módszerekkel.

Elektron hologramok alapján leképeztük a veszprémi Séd iszapjából gyűjtött mágneses baktériumokban lévő kettős magnetit láncok mágneses indukció „térképét”, mind szobahőmérsékleten, mind folyékony nitrogén hőmérsékletén. A magnetit kristályszerkezete 110 és 120 K között polimorf átalakuláson megy át és szerkezete monoklinná válik; az alacsony hőmérsékleten végzett kísérlettel azt vizsgáltuk, hogyan változtatja meg ez a fázisátalakulás a kristálylánc mágneses tulajdonságait. Szobahőmérsékleten a mágneses indukciót a részecskék kölcsönhatása és alak-anizotrópiája határozza meg, az indukált mágneses erőter vonalai párhuzamosak a kristálylánc tengelyével (1.a ábra). 116 K hőmérsékleten azonban a mágneses indukció iránya undulál a lánc mentén. Ez a jelenség valószínűleg abból ered, hogy a részecskék kölcsönhatása által meghatározott mágnessézettségi irány verseng a magnetokristályos anizotrópia által megszabott iránnyal (1.b ábra).

Két sejtben vizsgáltuk a vas-szulfid kristályok mágneses tulajdonságait és morfológiáját. A mágneses indukció térképek szerint a többszörös láncokat alkotó kristályok között vannak erősebben illetve gyengébben mágneses részecskék (2.e ábra), bár elektrondiffrakciós felvételek alapján valamennyi kristály ferrimágneses greigit. Az elektron hologramokból nyert mágnesség-térképek, a tomografikus rekonstrukciókból kapott háromdimenziós kristálymorfológiák (2.a-d ábra) és a nagyfelbontású felvételek alapján szerzett szerkezeti adatok összevetésével értékeljük az összefüggéseket a kristályok morfológiája, szerkezete és orientációja, valamint a mágneses indukció iránya és nagysága között.



1. ábra. Mágneses indukció térképek egy kettős magnetit (Fe_3O_4) kristályláncról (a) 293 K és (b) 116 K hőmérsékleten. A szobahőmérsékleten készült felvételen a mágneses kontúrvonalak párhuzamosak egymással és a láncsal. A 116 K hőmérsékleten készült hologramon a kontúrvonalak kevésbé szabályos lefutásúak.



2. ábra. Greigit (Fe_3S_4) kristályok egy osztódó mágneses baktérium sejtben. (a)-(d) Z-kontrasztos felvételsorozatból készült tomografikus rekonstrukció négy különböző vetületben, az (e) ábrán jelölt területről (az (e)-hez képest 90° -kal elforgatva). (e) Háromablakos energiaszűrt elem térképek és hologramok alapján készült mágneses indukció térkép kompozíciója. A kék szín a vas, a piros a szén, a zöld a kén koncentrációját jelzi. A többszörös lánc szélén lévő kristályok közül némelyik kevésbé mágnesesnek tűnik, mint a többi.