

Lengyel Attila

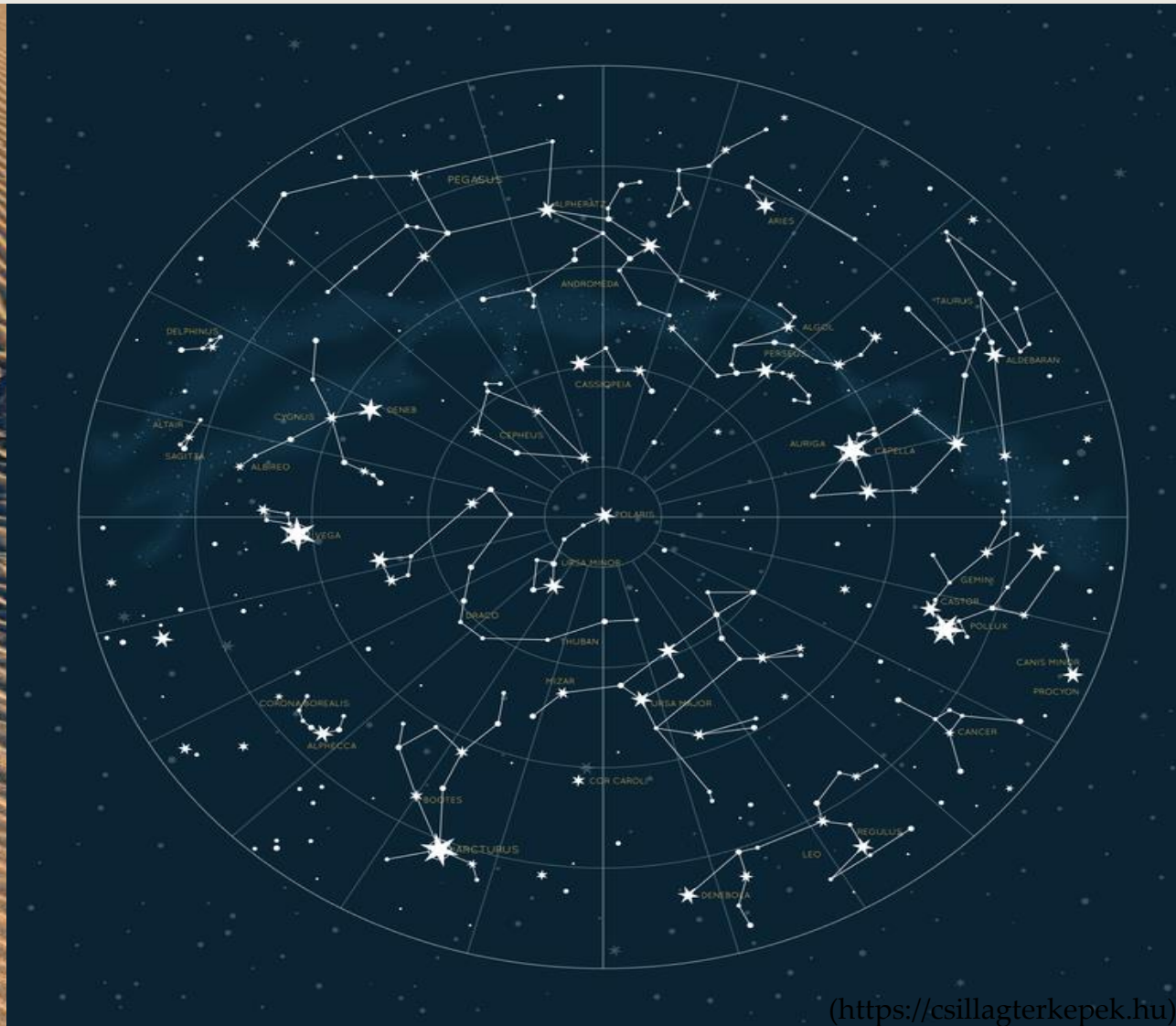
PhD

2023. október 17.

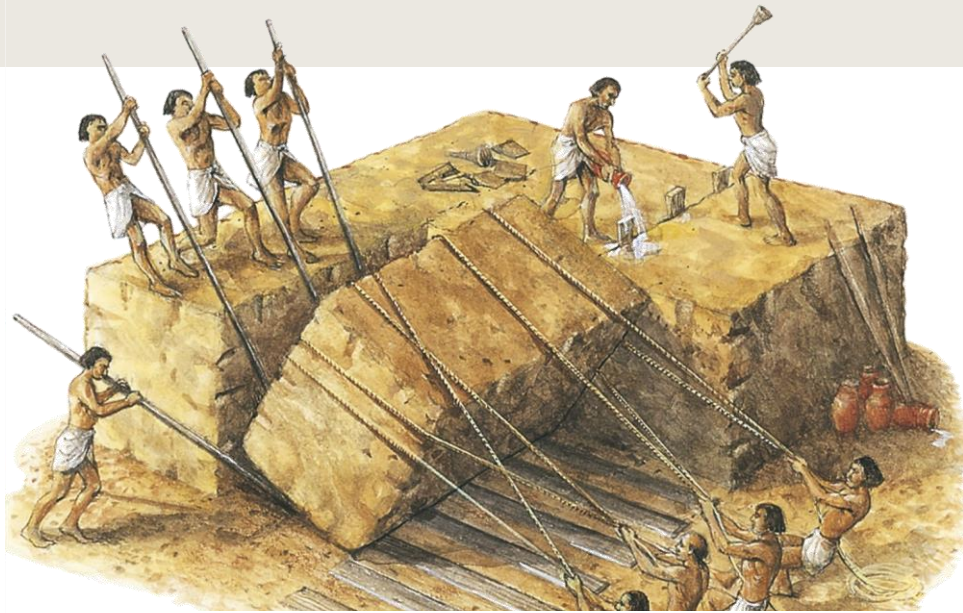
Funkcionális mintázatok vékonyrétegekben



(Pierre Leclerc)



(<https://csillagterkepek.hu>)



(<https://www.nationalgeographic.com>)

Simonyi-nap, 2023. Budapest

(<https://www.dkfindout.com>)

(<https://cultofsea.com>)

Lengyel Attila

Vékonyrétegek a természetben I.

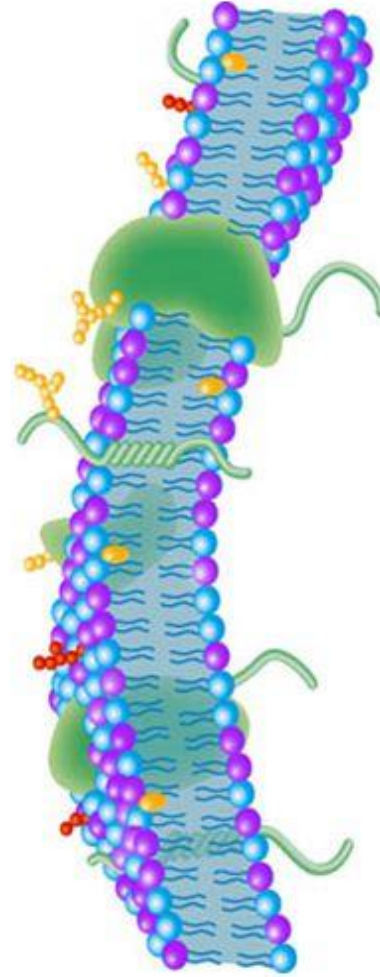
(<https://www.icecleaning.co.uk>)



olajfilm a vizen

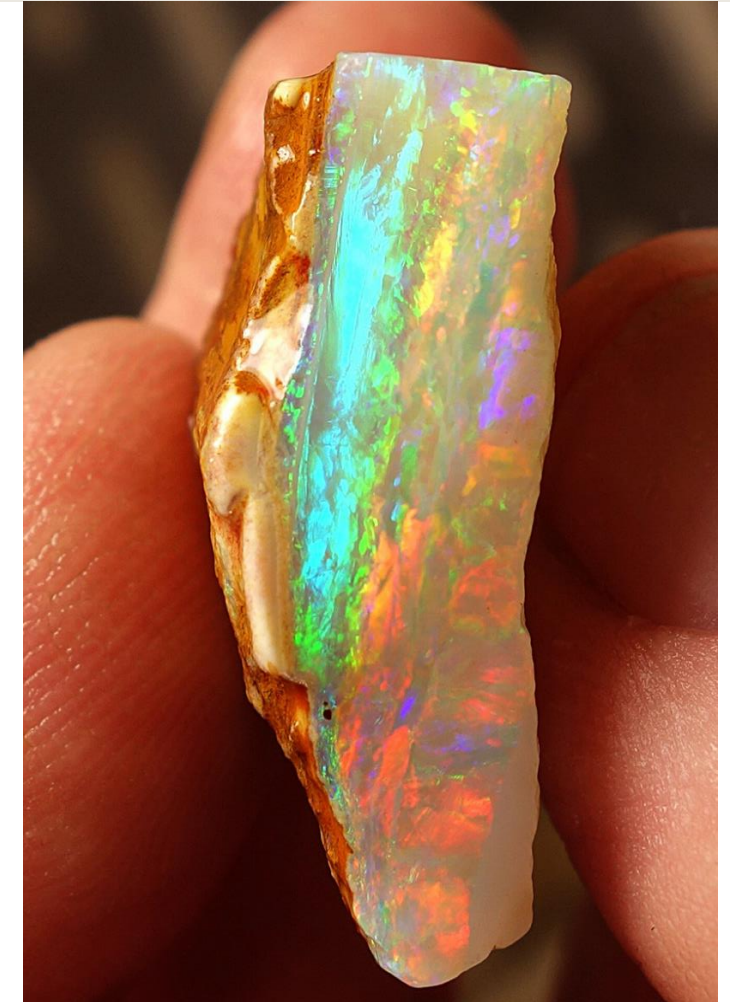
Lengyel Attila

(<https://www.microbiologiaitalia.it>)



lipid kettősréteg a sejtekben

(<https://en.wikipedia.org>)

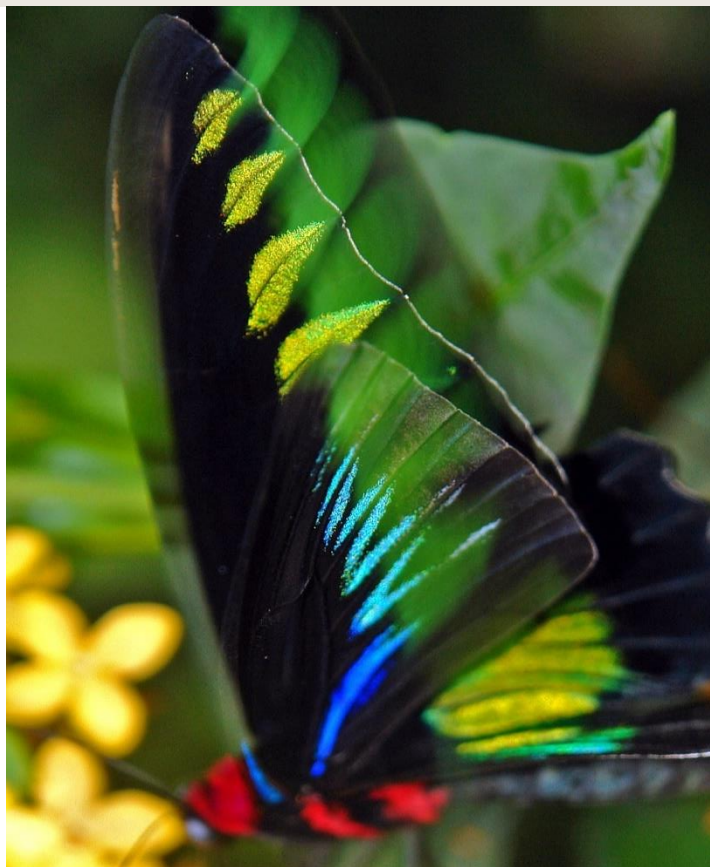


vízrétegek az opálban

Simonyi-nap, 2023. Budapest

Vékonyrétegek a természetben II.

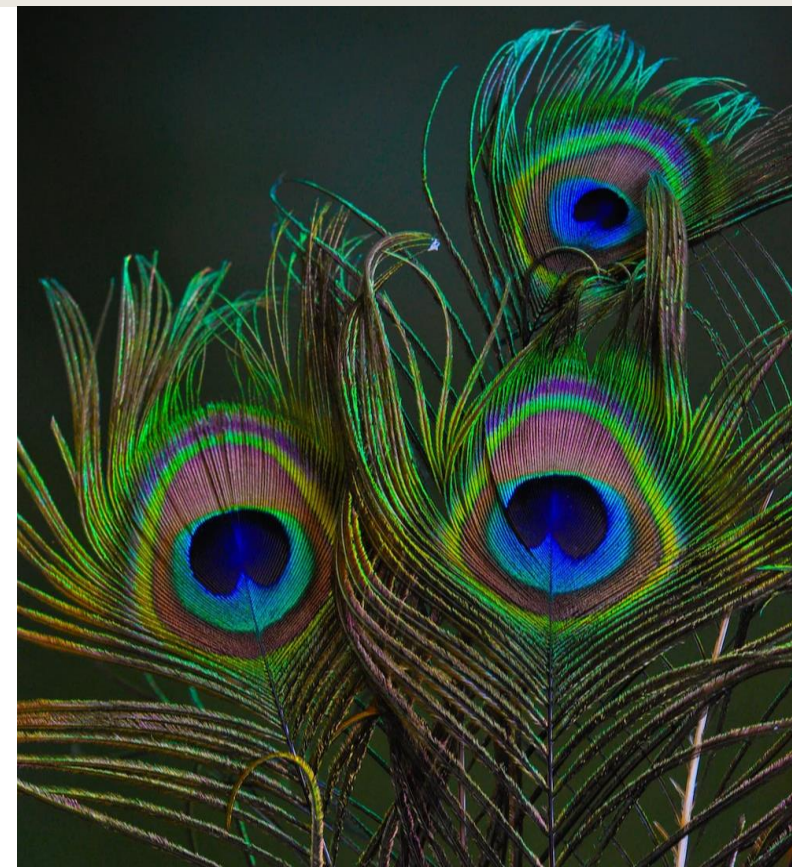
(Raymond JC Cannon)



(Julian Londono)



(<https://www.amazon.in>)



Valójában ezeket az állatokat szintelen vékonyrétegeket fedik,
de a fénytörés és interferencia miatt színesnek látjuk őket!

Természet ihlette nanostrukturák

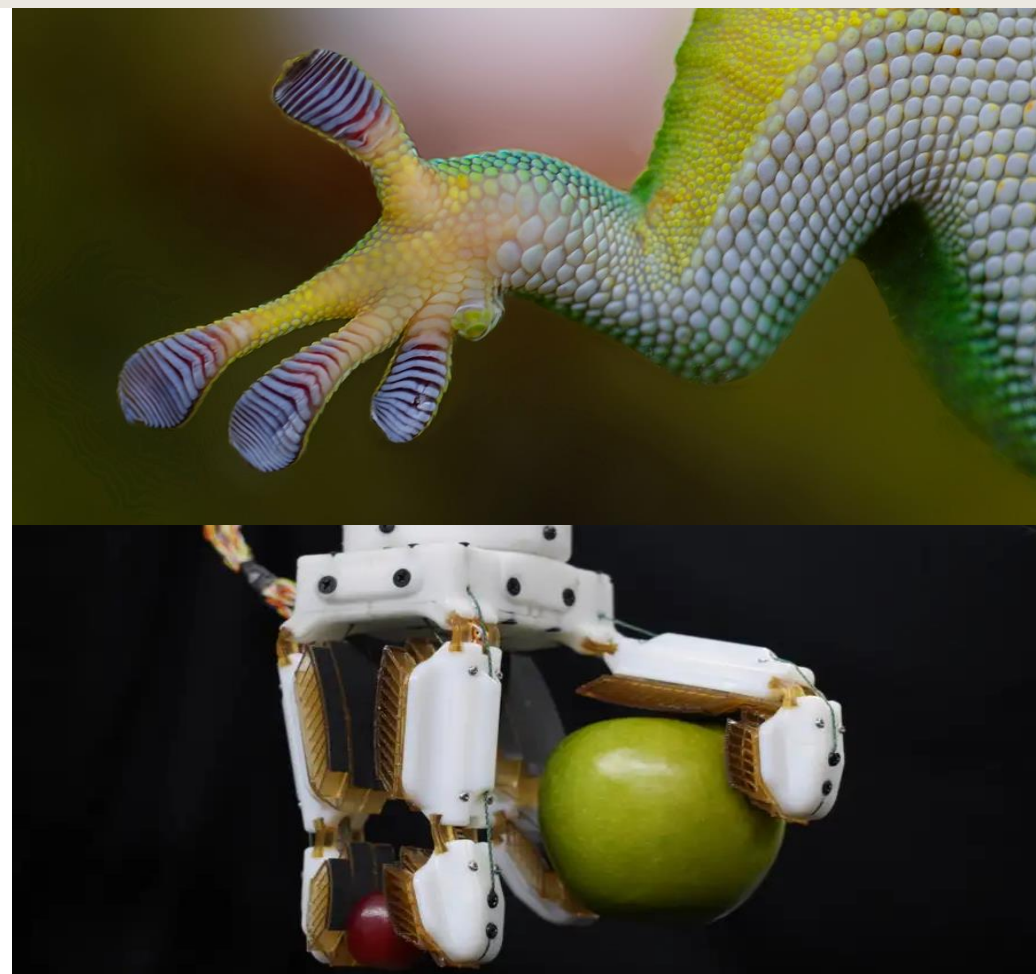
(<https://www.foodmanufacturing.com> & <https://www.technicaltextile.net>)



„lótusz levél effektus”

Szuperhidrofób felület, illetve jelentős Van der Waals erő a nanoszerkezet miatt!

(<https://www.prescouter.com> & <https://www.newscientist.com>)



„gekkó hatás”

Funkcionális vékonyrétegek az elektronikában

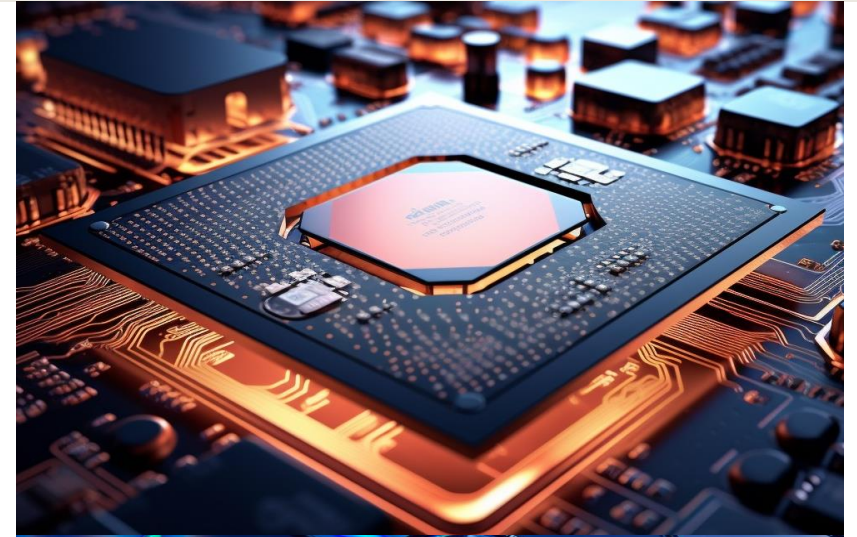
(<https://www.samsung.com>)



(<https://www.muszaki-magazin.hu>)



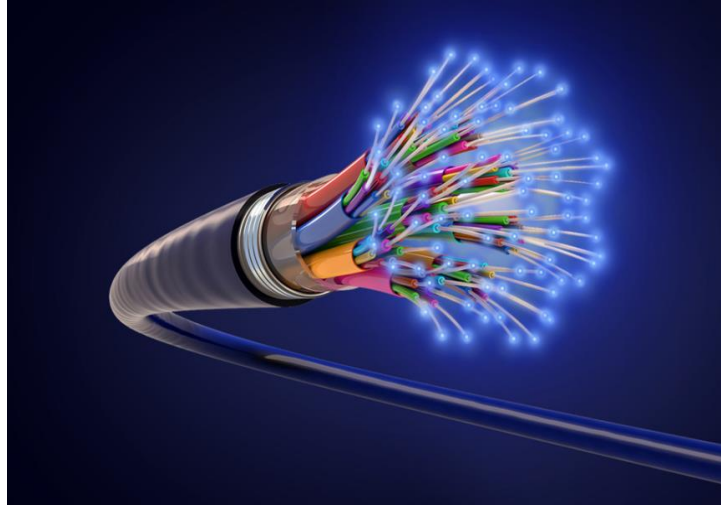
(<https://ts2.space>)



(<https://www.lg.com>)



(<https://all-techcommunications.ca>)



(<https://www.wired.com>)



áttetsző vezető rétegek

napelemek és optikai kábelek

tranzisztorok és adattárolók

Vékonyrétegek a technológiában

<https://sumicarbide.com/>



kopásálló -

<https://binocularsinsight.com/>



tükröződés gátló/polarizáló-

<https://www.pfiinc.com/>



korrózióálló bevonatok

Mágneses adattároló rendszerek

(<https://www.comparitech.com>)



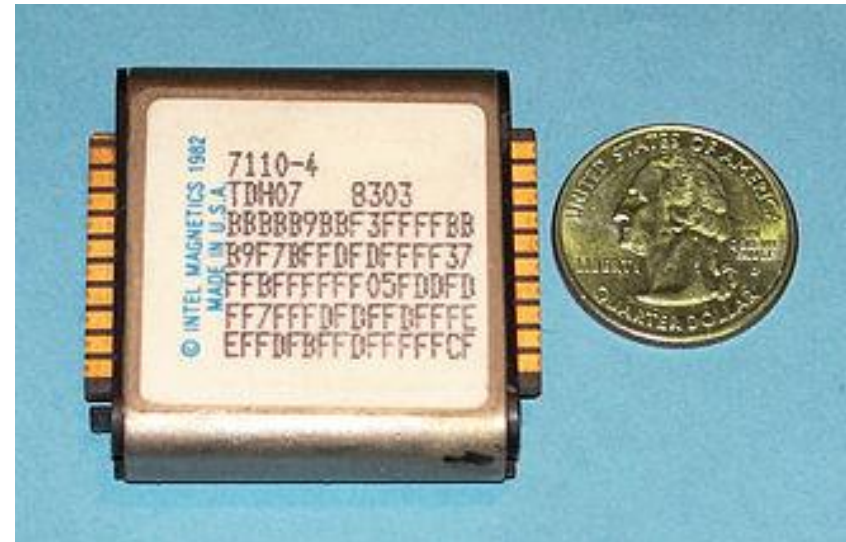
(<https://www.techtarget.com>)



(<https://www.retrostylemedia.co.uk>)



(<https://en.wikipedia.org>)



HDD és buborék memória

mágneses szalagok és MRAM

Mágneses logika egységek



(<https://www.computerconservationsociety.org>)



(<https://www.ans.org>)



Korai MLD alapú vezérlő egység (Elliott 803) és az N-reaktor.

mágneses technológiák Vs. félvezető technológiák

a mágneses adattároló rendszerek előnyei:

- ✓ nagyobb adatkapacitás
- ✓ miniaturizálhatóság
- ✓ hosszabb élettartam
- ✓ költséghatékonyság

a mágneses logikai rendszerek előnyei:

- ✓ „non-volatility”
- ✓ energia hatékonyság (átlag)
- ✓ ellenállóbb ionizáló sugárzásokra
- ✓ robusztusság
- ✓ kicsinyíthetőség



a félvezető adattároló rendszerek előnyei:

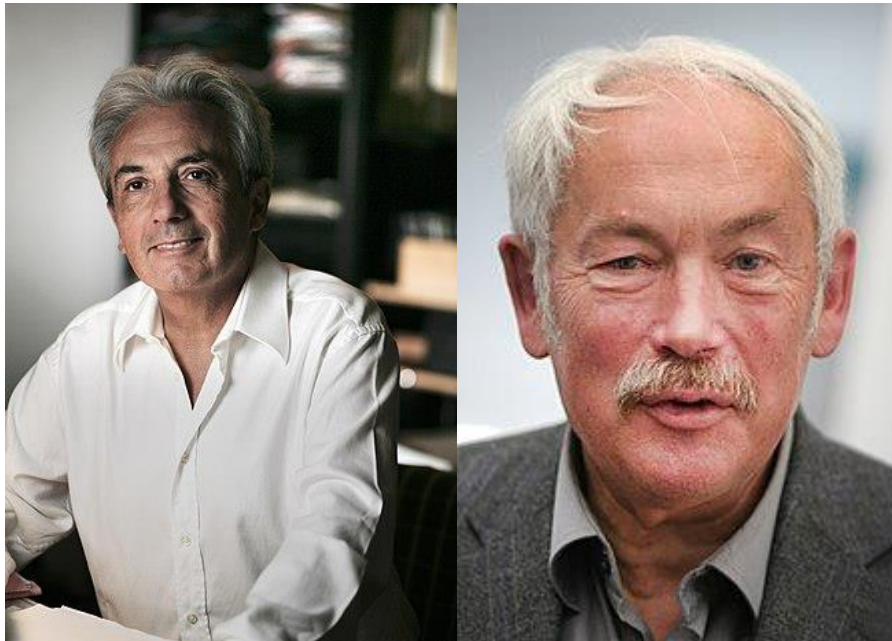
- ❖ energiahatékonyság
- ❖ érzéketlenek a mágneses hatásokra

a félvezető logikai rendszerek előnyei:

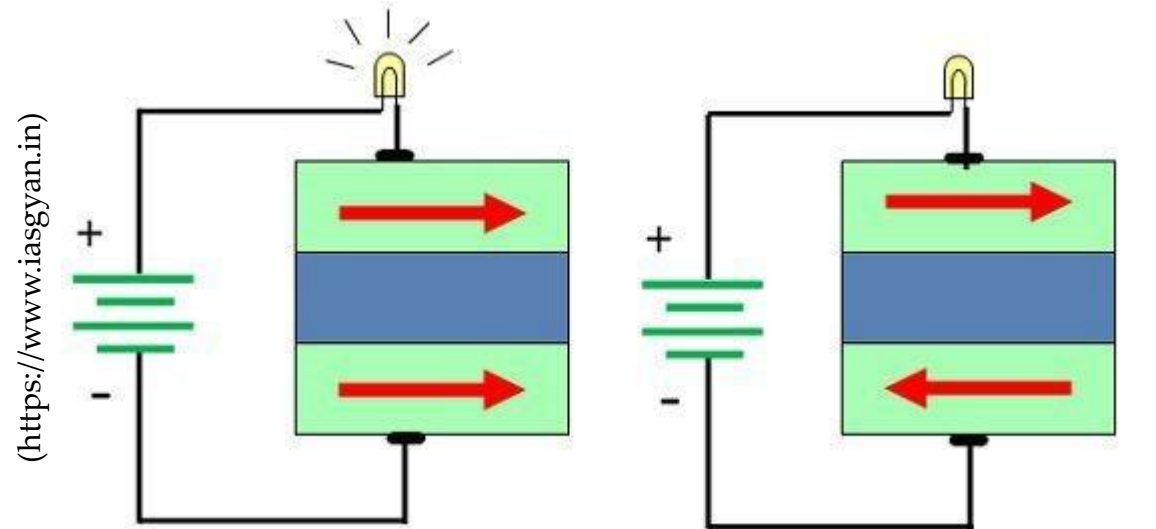
- ❖ energiahatékonyság (számítás közben)
- ❖ sebesség
- ❖ ellenálló mágneses tereknek

Óriás mágneses ellenállás

Albert Fert és Peter Grünberg
2007 Nobel-díj



(<https://en.wikipedia.org>)



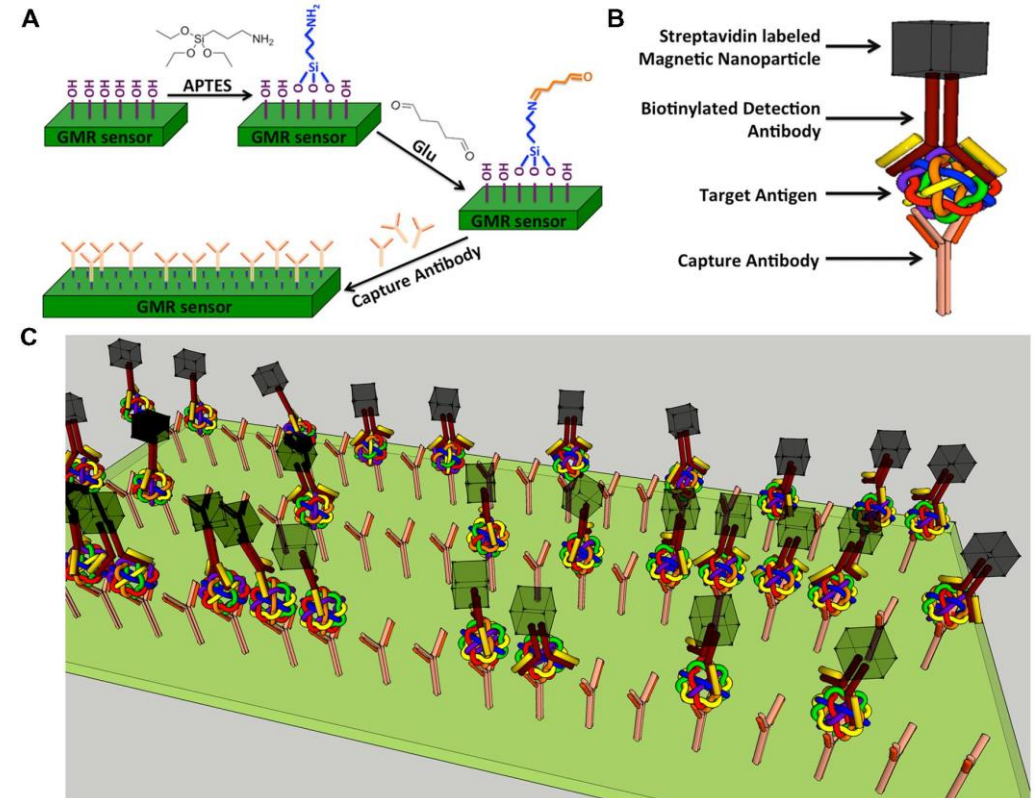
A ferromágneses anyagok elektromos ellenállása jelentősen eltér a kétféle spinállapotú elektronra. Ha a spin iránya azonos a mágnesezettség irányával, akkor az ellenállás minimális, ha ellentétes irányú, akkor maximális.

A GMR alkalmazási területei

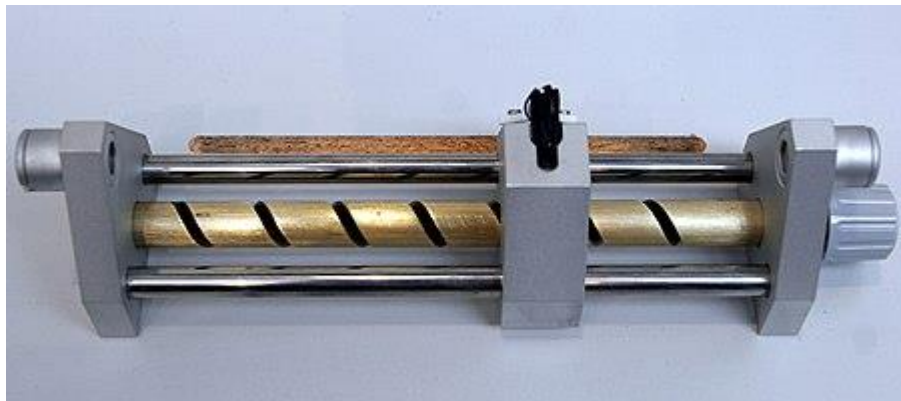
merevlemez



GMR alapú influenza bioszenzor



Az első GMR alapú mágneses szenzor



Krishna, V. D. *et al. Front. Microbiol.* (2016)

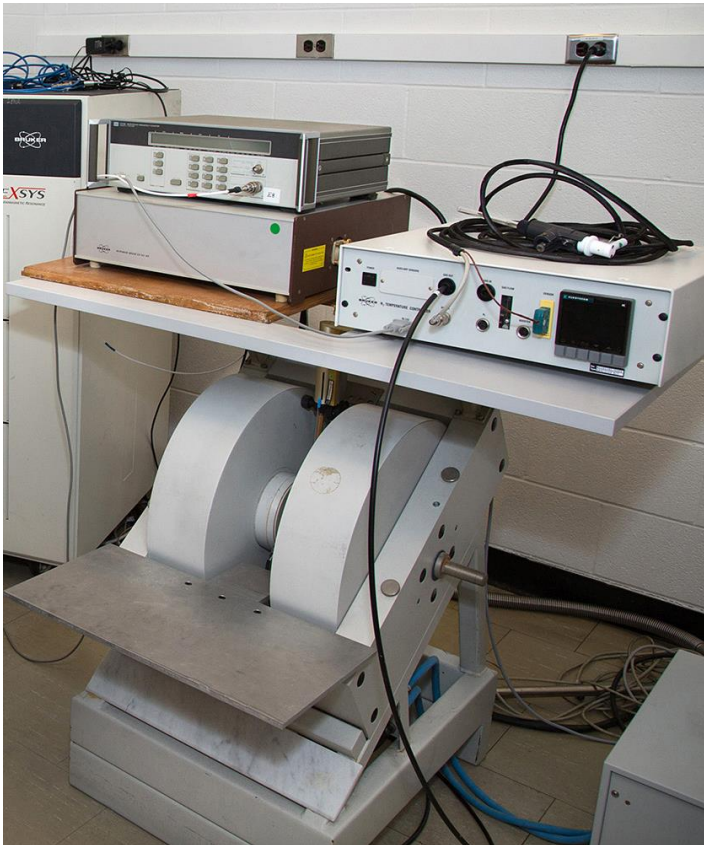
Peter Grünberg

Simonyi-nap, 2023. Budapest

Lengyel Attila

Spin transzfer oszcillátorok

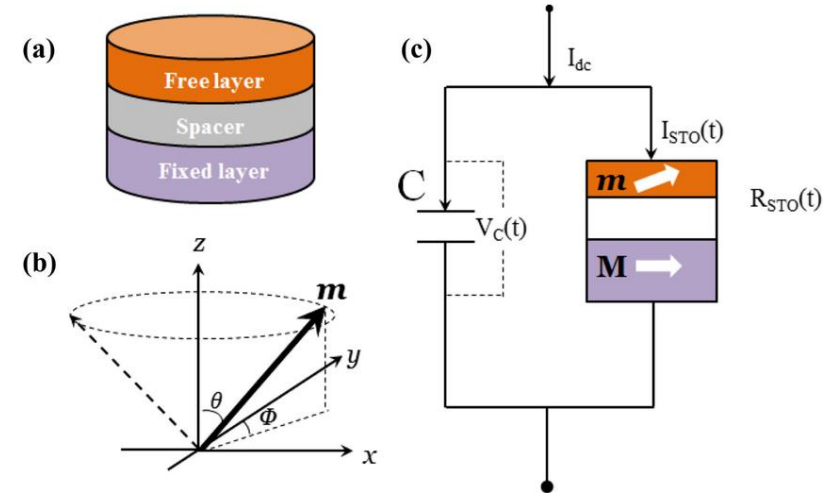
ESR a Torontoi Egyetemen



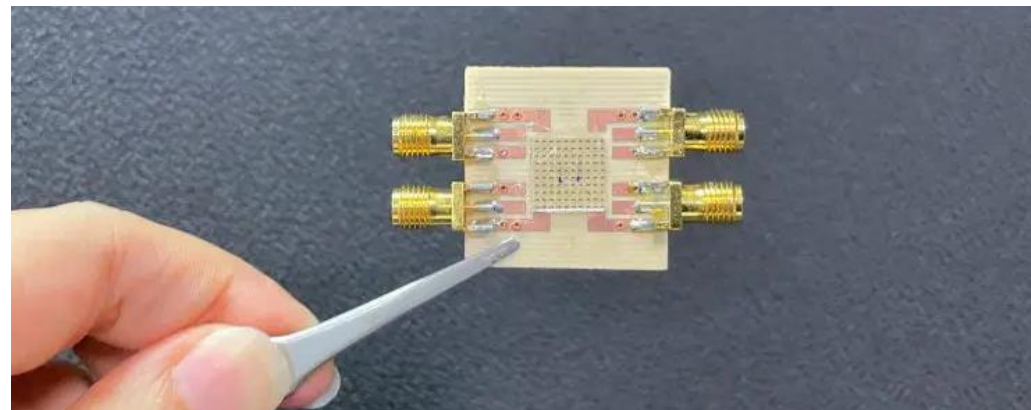
Zeng, T. et al. *Nanoscale Research Letters* (2014)

National University of Singapore

STO vázlata



WiFi energiagyűjtő

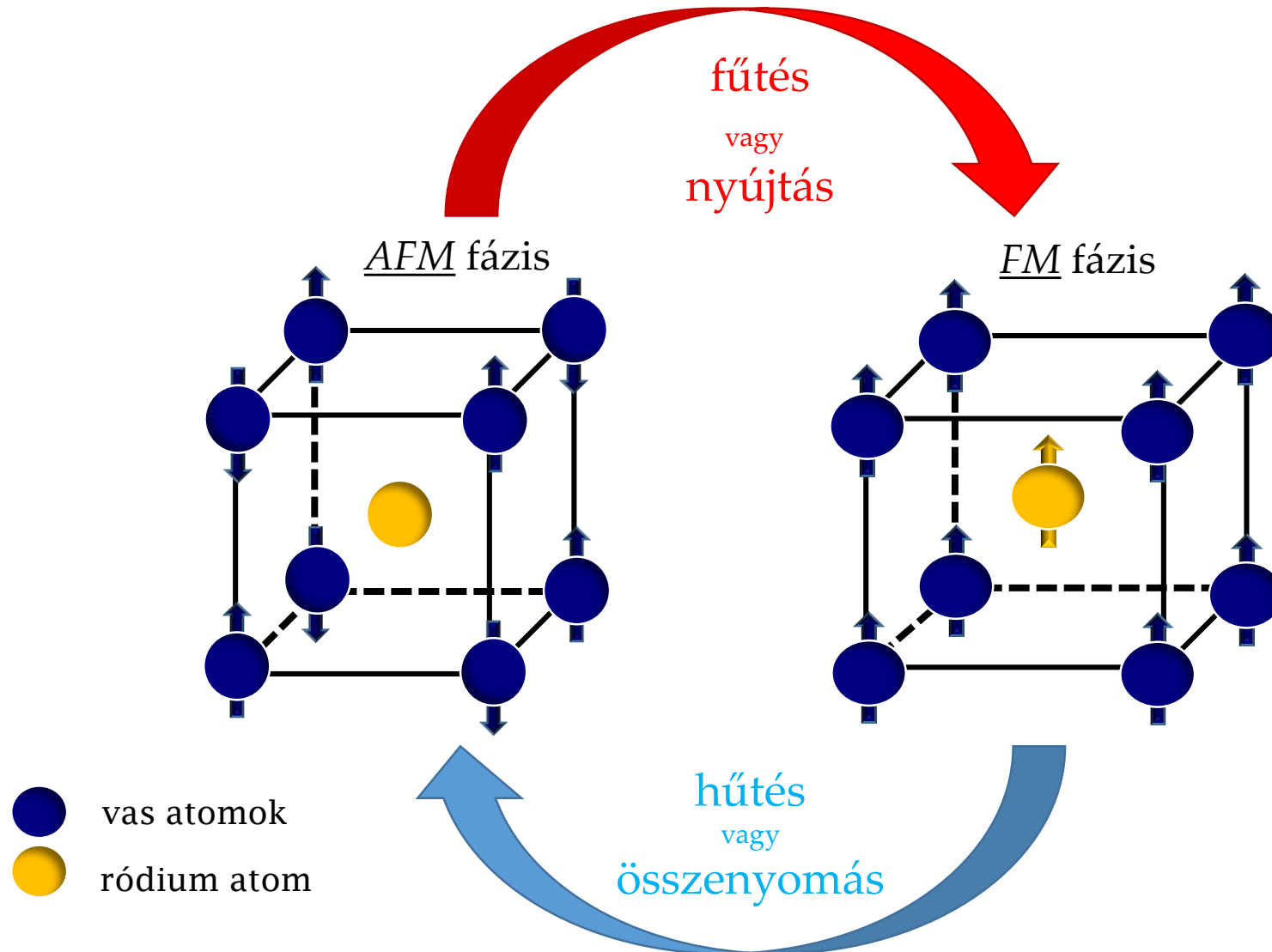


A kvázihomogén szerkezetek előnyei

- egyszerűbbek
 - költséghatékonyabbak
- gyorsabbak
- szívósabbak
- kevesebb energiát használnak
- könnyebben integrálhatók/miniaturizálhatók



A vas-ródium ötvözet mágneses tulajdonságai



A szobahőmérsékleti fázis beállítható a Fe/Rh atomarányval.

A FM-AFM fázisátalkulás hőmérséklete is módosítható, például az Fe/Rh atomi arány megváltoztatásával vagy multiferroikus csatolással.

Nehézion besugárzással paramágneses, fázisok is létrehozhatók és reverzibilisen FM fázisba alakíthatók.

Merkel, D. G. *et al.* „Reversible control of magnetism in FeRh thin films.”
SCIENTIFIC REPORTS (2020)

További lehetőségek a vas-ródiumban

piezoelektromos

bárium-titanát

+

magnetoelasztikus

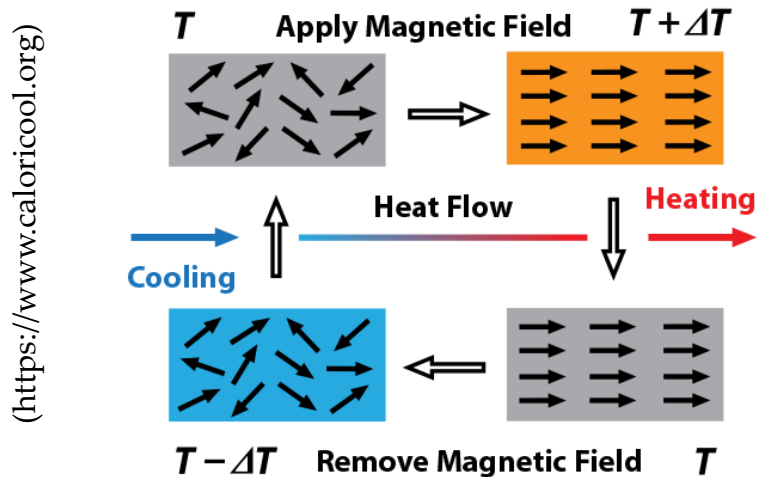
FeRh

multiferroikus kompozit

FeRh

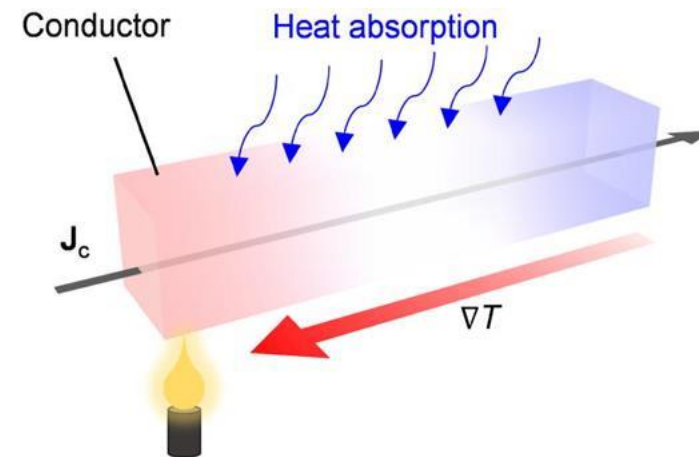
BTO

magnetokalorikus effektus



Tran, H. B. *et al.* "Direct and inverse magnetocaloric effects in FeRh alloy" *Journal of Alloys and Compounds* (2022)

termoelektromos effektus



Modak, R. *et al.* "Phase-transition-induced giant Thomson effect for thermoelectric cooling" *Applied Physics Review* (2022)

multiferroikus anyagok

Liang, S. *et al.* "Small-voltage multiferroic control of two-dimensional magnetic insulators."

Nature Electronics (2023)

Jiang, Y. *et al.* "Dilemma in optical identification of single-layer multiferroics." *Nature* (2023)

Liu, K. *et al.* "Tunable sliding ferroelectricity and magnetoelectric coupling in two-dimensional multiferroic MnSe materials." *npj Computing Materilas* (2023)

Du, R. *et al.* "Two-dimensional multiferroic material of metallic p-doped SnSe." *Nature Communications* (2022)

Ponet, L. *et al.* "Topologically protected magnetoelectric switching in a multiferroic." *Nature* (2022)

vas-ródium

Kang, K. *et al.* "Spin current driven by ultrafast magnetization of FeRh." *Nature Communications* (2023)

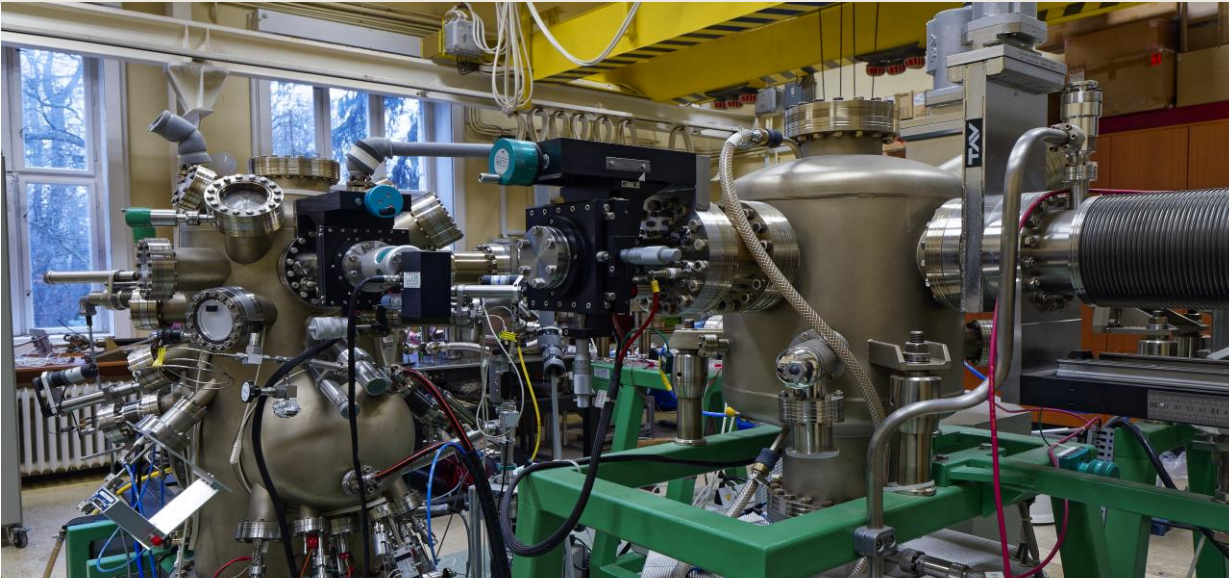
Sklenar, J. *et al.* "Evidence of pseudogravitational distortions of the Fermi surface geometry in the antiferromagnetic metal FeRh." *Communications Physics* (2023)

Blumenschein, N.A. *et al.* "High-speed metamagnetic switching of FeRh through Joule heating." *Scientific reports* (2022)

Li, G. *et al.* "Ultrafast kinetics of the antiferromagnetic-ferromagnetic phase transition in FeRh." *Nature Communications* (2022)

Grimes, M. *et al.* "Determination of sub-ps lattice dynamics in FeRh thin films." *Scientific Reports* (2022)

Molekulanyaláb epitaxia

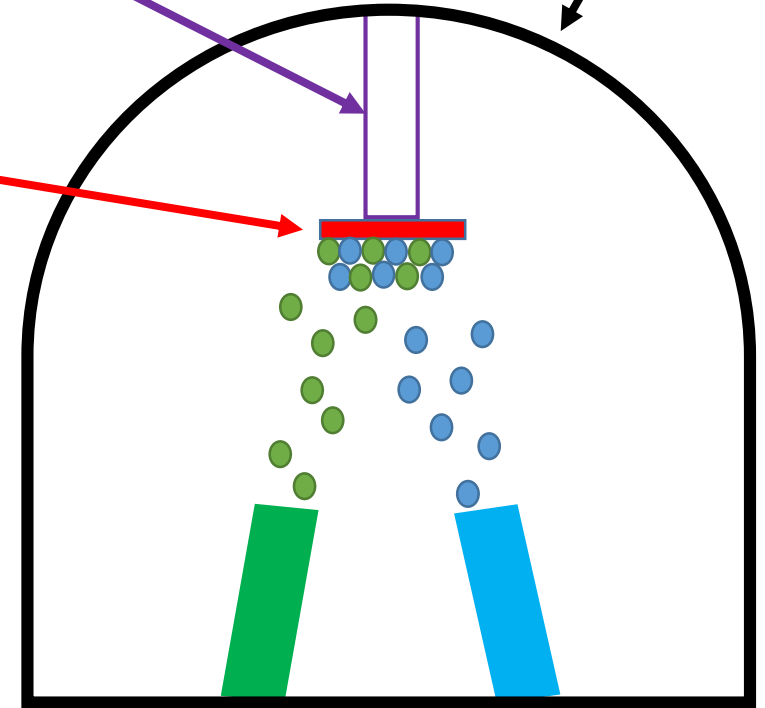


(<https://www.perkins.org>)

forgó mintatartó

vákuum kamra
 10^{-10} mbar!

hűvösebb
szubsztrát



forró fémforrás I.

forró fémforrás II.

Leggyakoribb tudományos partnereink

TU Darmstadt

Universidad Complutense de Madrid



Wigner Fizikai
Kutatóközpont

Energiatudományi
Kutatóközpont

Eötvös Loránd
Tudományegyetem

Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi
Egyetem

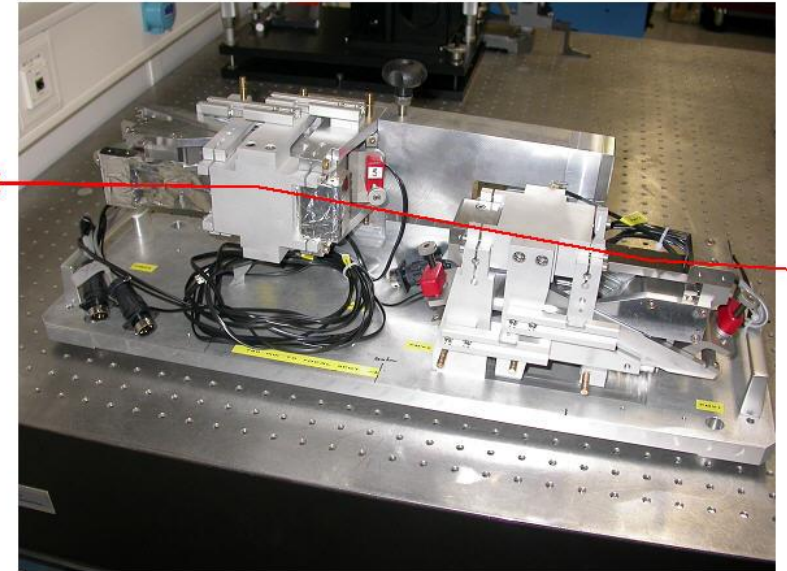
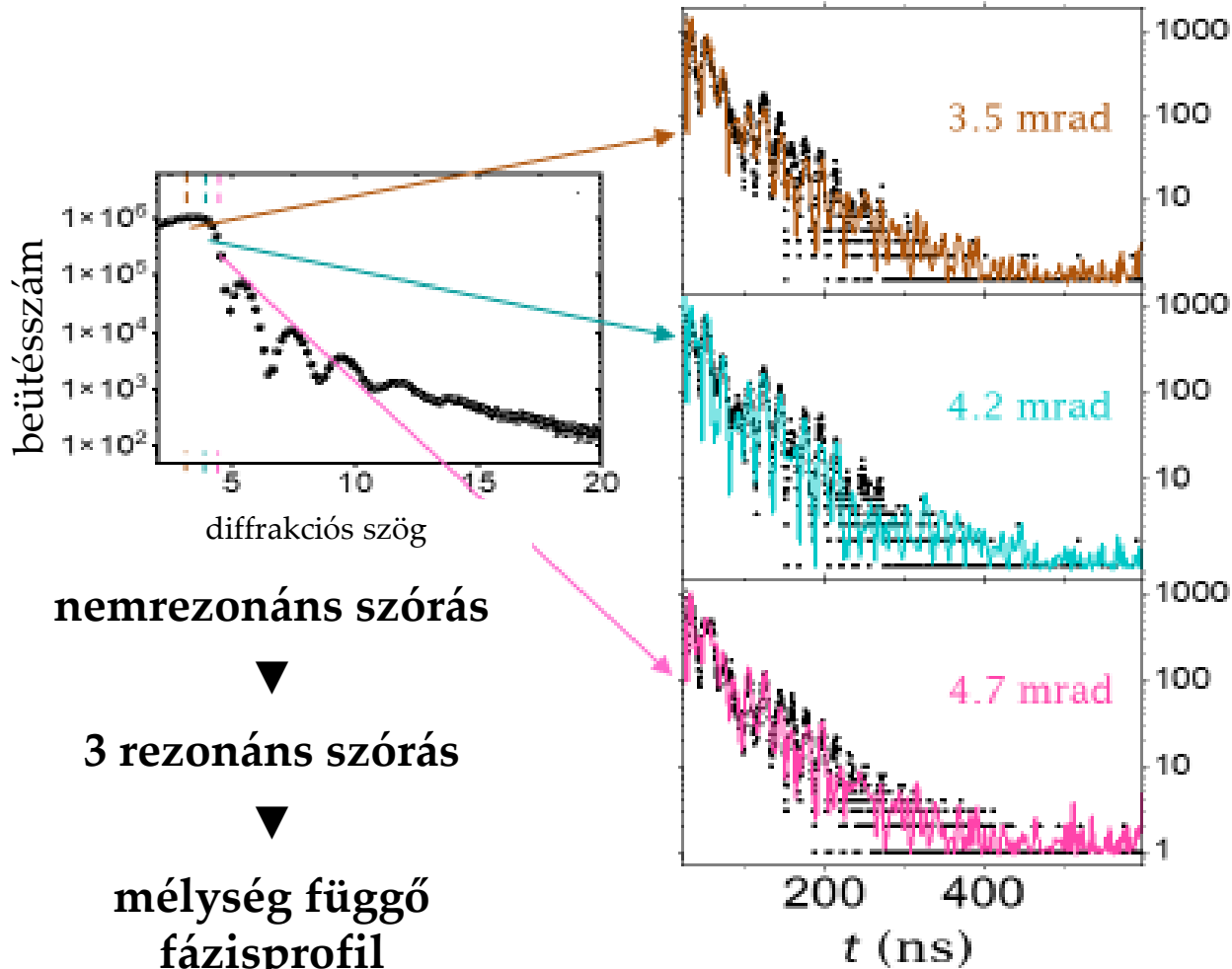


(<https://cultura.hu>)

European Synchrotron
Radiation Facility
beamline 18
(2023-tól beamline 14)



ESRF: a 3D fázistérkép

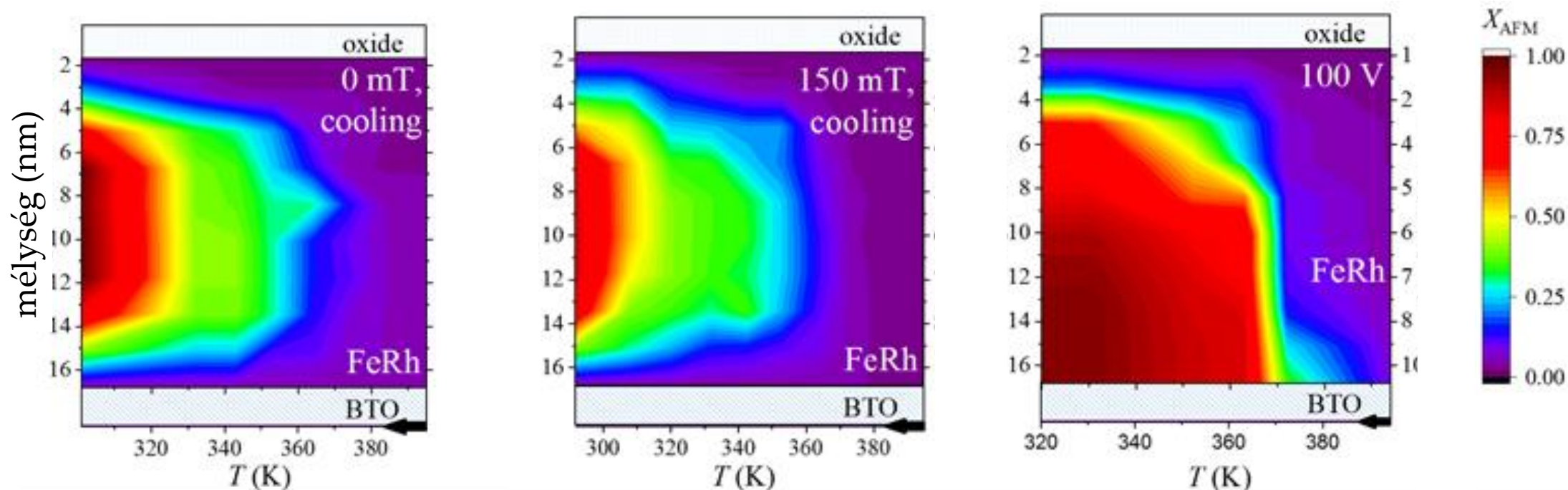


(<http://esrf.fr>)

mikrofókuszált nyaláb

laterális fázistérkép

A multiferroikus csatolás hatása a FM-AFM átalakulásra

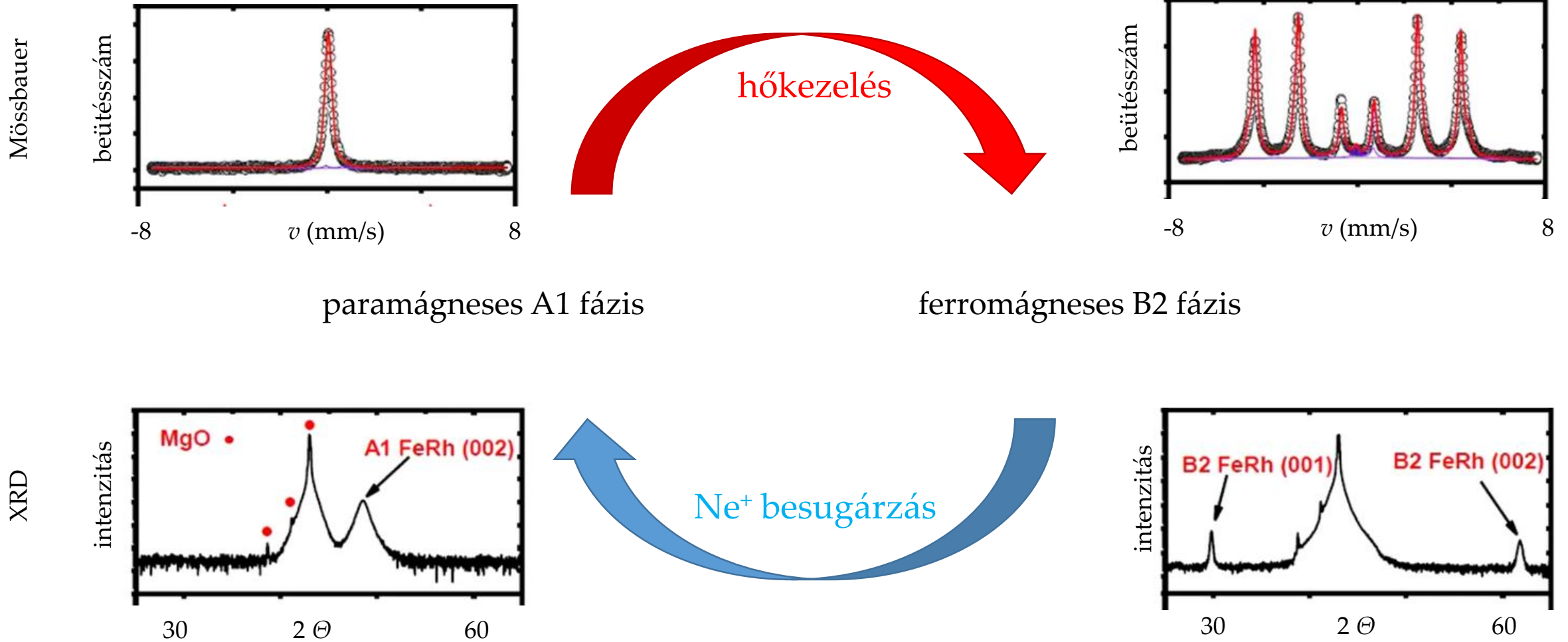


Az antiferromágneses FeRh fázis aránya a mélység, hőmérséklet és elektromos-/mágneses tér függvényében a BTO/FeRh multiferroikus kompozitban.

(minél melegebb a szín annál nagyobb az AFM fázis aránya)

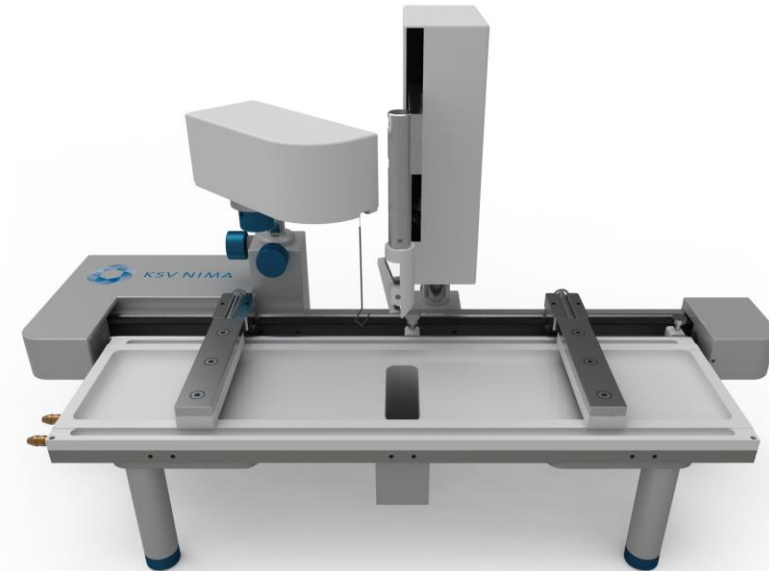
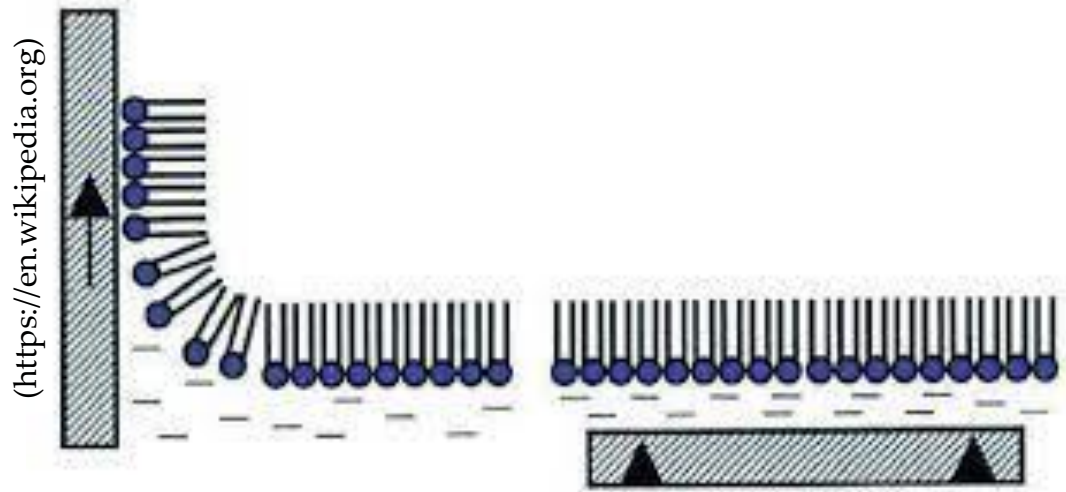
Lengyel A. *et al.* „Synergy effect of temperature, electric and magnetic field on the depth structure of the FeRh/BaTiO₃ composite multiferroic” *Materials Science and Engineering B* (2022)

Mágneses mintázat létrehozása FeRh rétegben



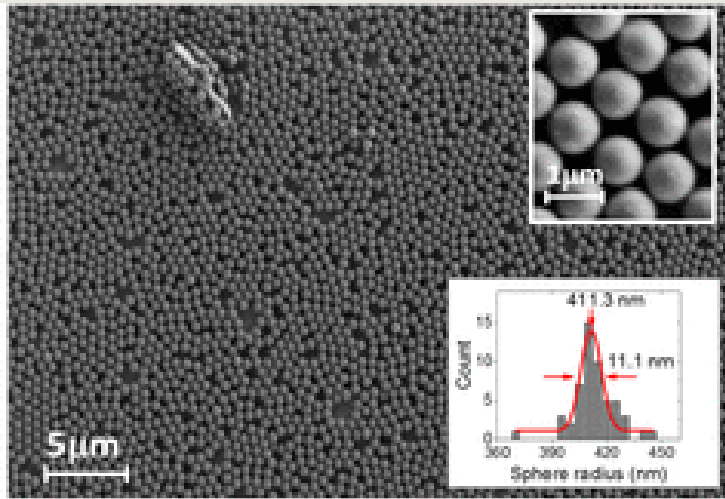
Merkel, D. G. *et al.* „Reversible control of magnetism in FeRh thin films.” *SCIENTIFIC REPORTS* (2020)

Mágneses mintázat létrehozása maszkolással I.

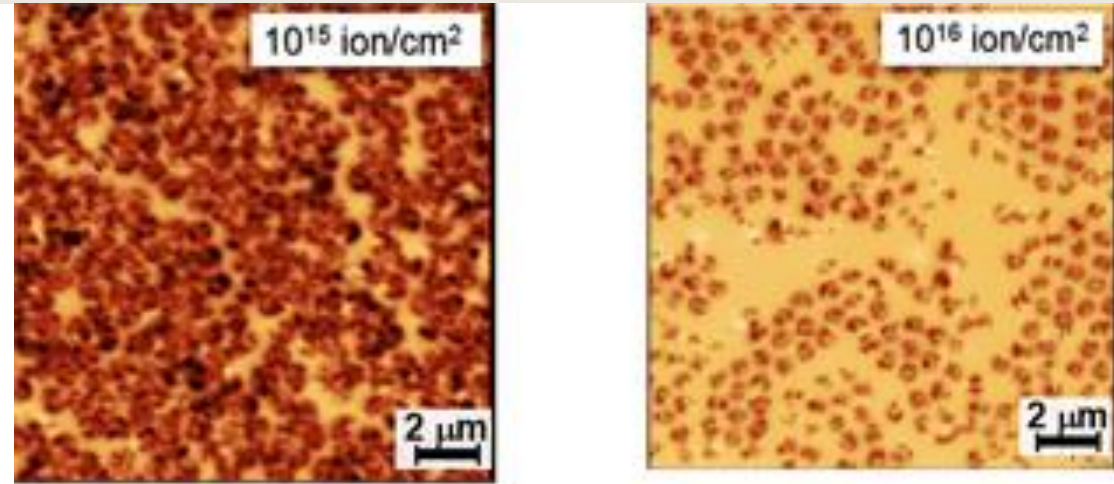


A Langmuir-Blodgett filmtechnika sematikus működése és a hozzá használt berendezés.

Mágneses mintázat létrehozása maszkolással II.

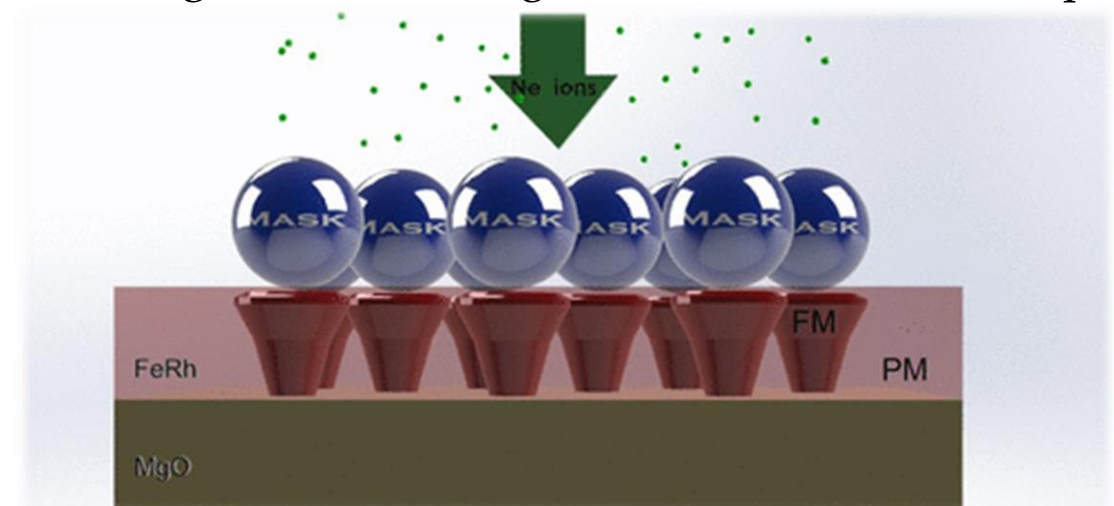


A maszk TEM képe



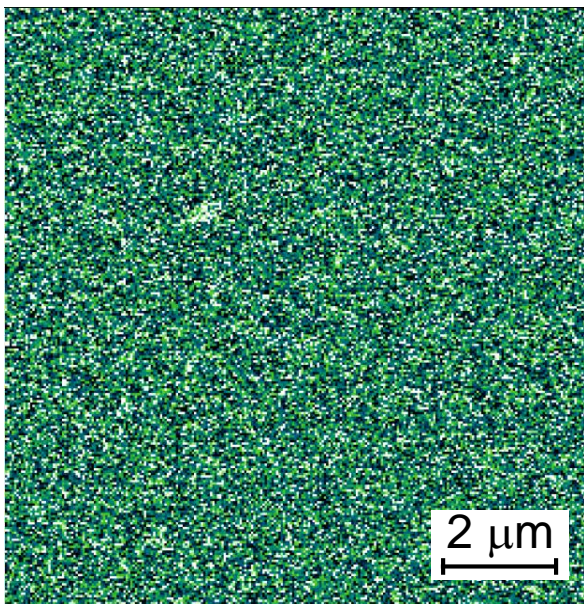
A besugárzás utáni mágneses struktúra MFM képe

Merkel D. G. *et al.* „A Three-Dimensional Analysis of Magnetic Nanopattern Formation in FeRh Thin Films on MgO Substrates: Implications for Spintronic Devices” *Applied Nano Materials* (2022)



Mágneses mintázat létrehozása lézerrel

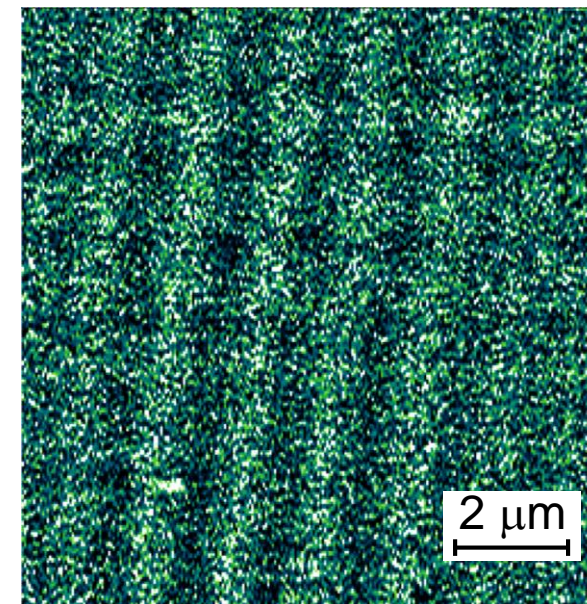
MFM, íratlan



AFM, írt

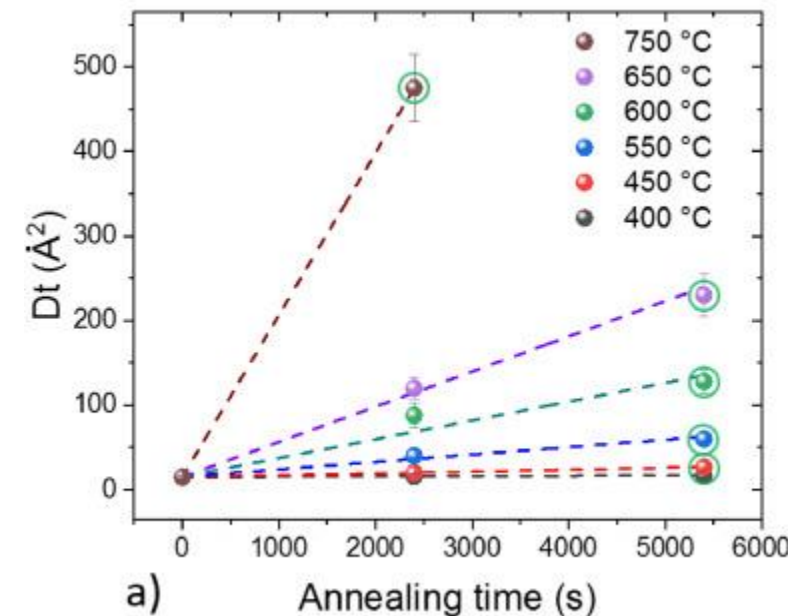
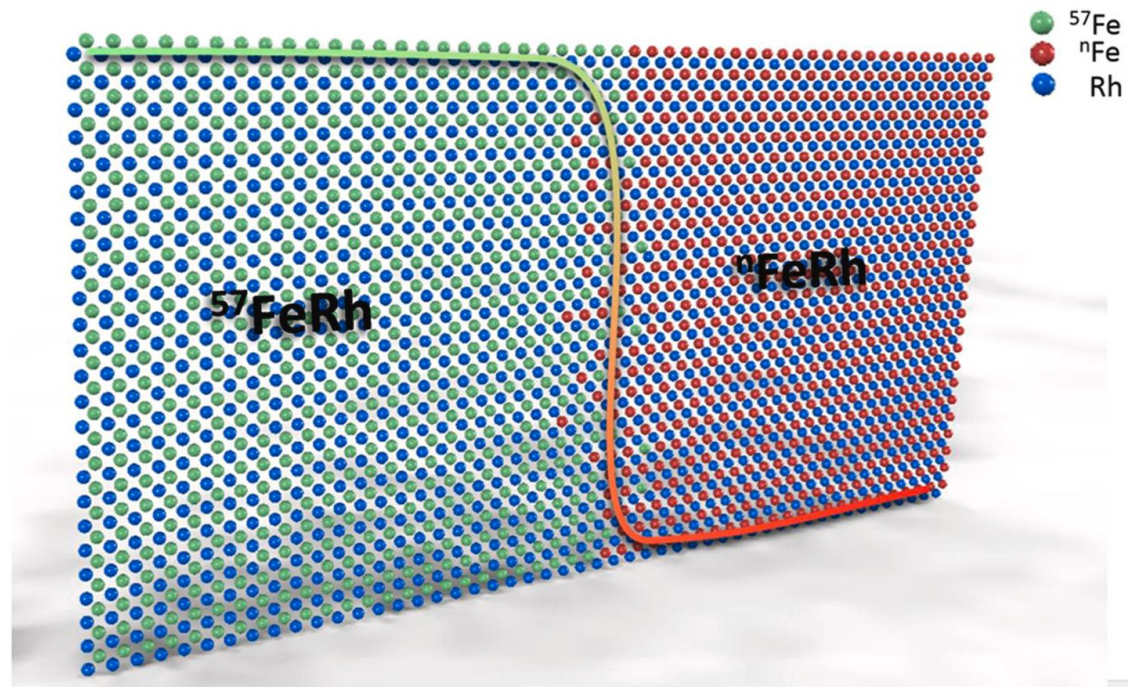
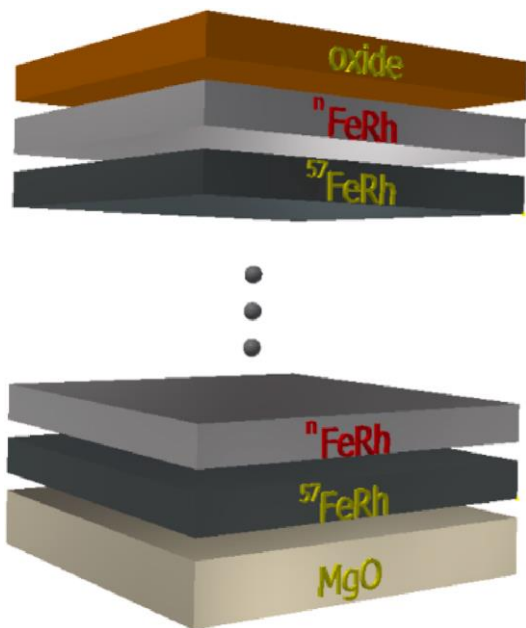


MFM, írt



Merkel D. G. *et al.* „Laser irradiation effects in FeRh thin film” *Material Research Express* (2023)

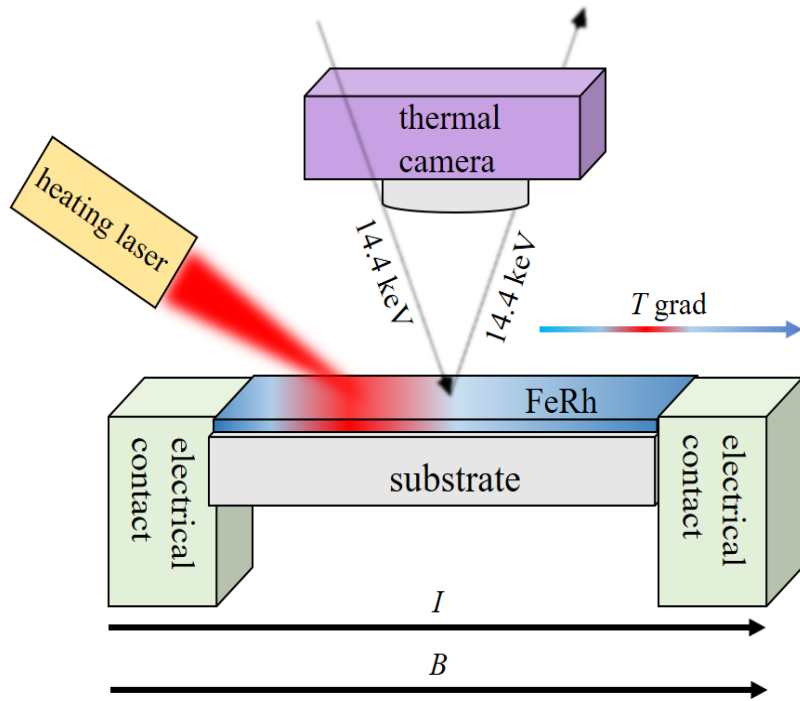
A diffúzió meghatározása



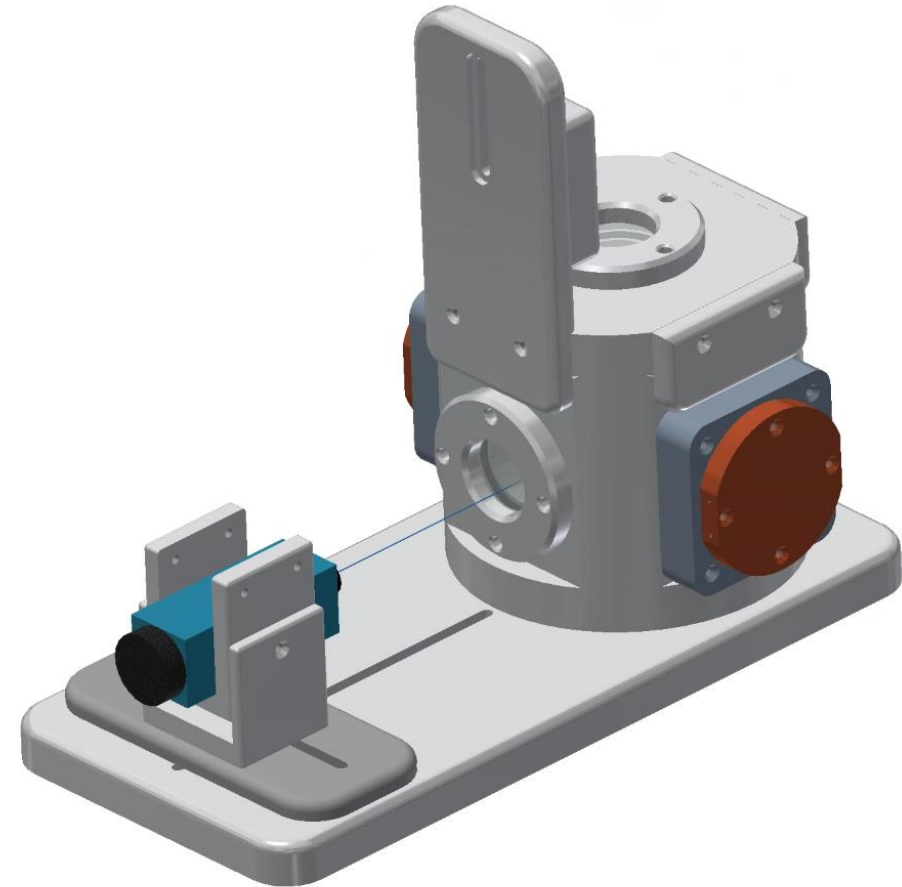
A B2 vas-ródiumban nincs jelentős diffúzió 400-450 °C hőmérsékletig, így addig a struktúrák stabilak.

Merkel D. G. *et al.* „Iron self-diffusion in B2-FeRh thin film” *Vacuum* (2023)

2024: Hőelektromos hatások vizsgálata



A tervezett ESRF mérés vázlatja



A tervezett kísérleti összeállítás

Vékonyréteg alapú technológiák nélkül a modern életvitel alapvető eszközei nem léteznének.

A funkcionális vékonyrétegek további fejlesztése segíthet:

az eszközök **méretének** és **energiafelhasználásnak csökkentésében**;

valamint azok **sebességének, precizitásának és adattároló képességnek növelésében.**

Köszönettel

Merkel Dániel
Hegedűs Gergő
Sajti Szilárd
Deák László
Bazsó Gábor
Szilágyi Edit
Nagy Dénes
Németh Attila
Horváth Zsolt
Bogdán Csilla



Radnóczy György
Petrik Péter
Deák András
Illés Levente
Zolnai Zsolt
Nemes Norbert
Maria Gracheva
Aleksandr Chumakov
Dimitrios Bessas
Iliya Radulov

Köszönöm a figyelmet!