

HUN  
REN



Energiatudományi  
Kutatóközpont



ÓBUDAI EGYETEM  
ÓBUDA UNIVERSITY

HUN-REN  
Magyar Kutatási Hálózat

# HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont

## Óbudai Egyetem Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola

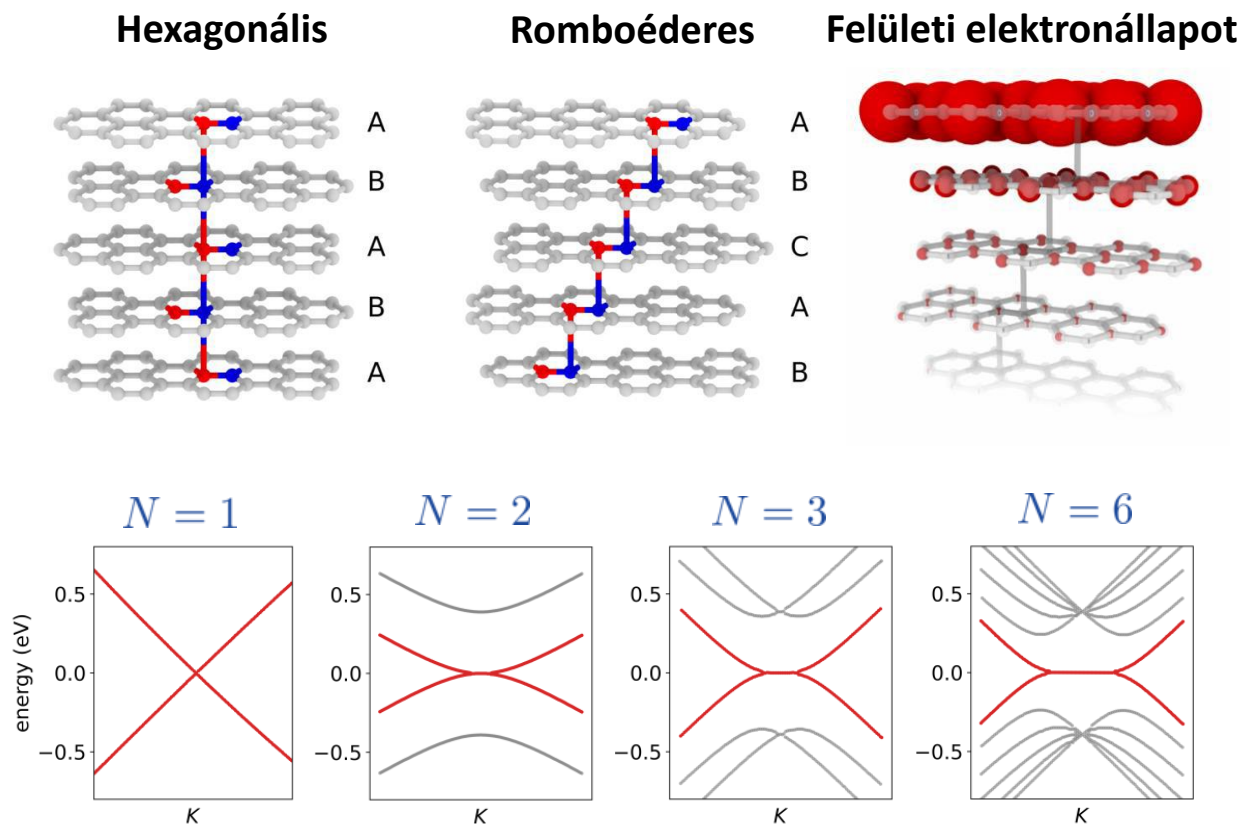
Előadás cím: ROMBOÉDERES GRAFIT ELŐÁLLÍTÁSA ÉS VIZSGÁLATA

Előadó neve: Máriy Krisztián

Témavezető: Nemes-Incze Péter PhD

Kutatás. Innováció. Hatás.

A romboédeses grafit a természetes grafit egy allotrop módosulata (eltérő fizikai tulajdonságok)



### Fizikai tulajdonságok:

- K pont körüli lapos sáv
- Felületi elektronállapot
- Rétegszámfüggő lapos sáv
- Rétegszám növelésével erősebb kölcsönhatás

### Egzotikus kvantum fázisok:

- Chern szigetelő
- Antiferromágnes
- Szupravezető

$$E(k) \propto k^N$$

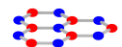
$k$ : hullámszám vektor nagysága

$N$ : rétegszám

$$n_1^{páros} = 2^{N-3} + 2^{(N-4)/2}$$

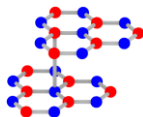
$$n_2^{páratlan} = 2^{N-3} + 2^{(N-3)/2}$$

1 réteg



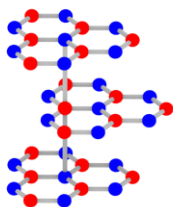
1 db

2 réteg

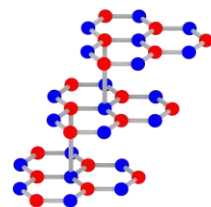


1 db

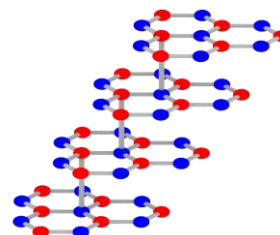
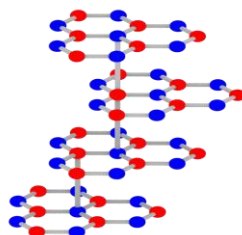
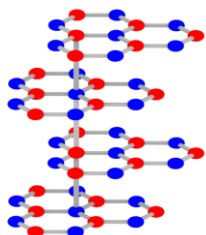
3 réteg



2 db

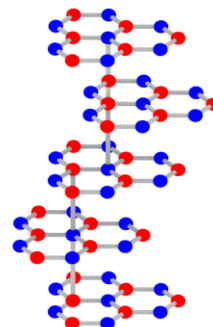
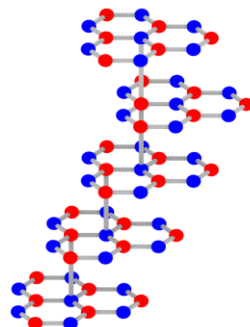
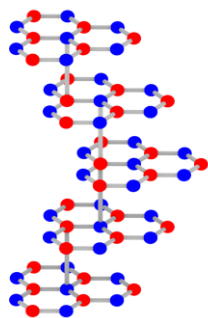
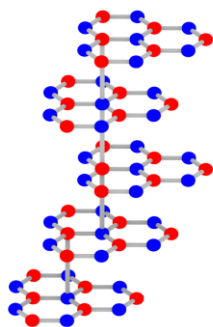
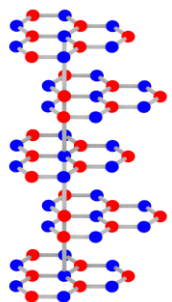


4 réteg

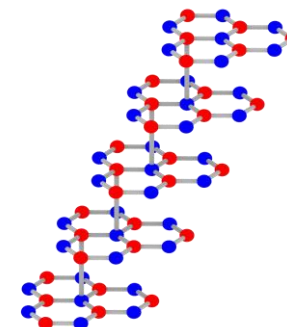


3 db

5 réteg

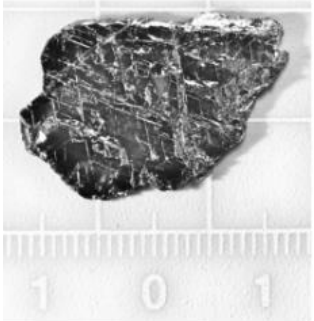


6 db

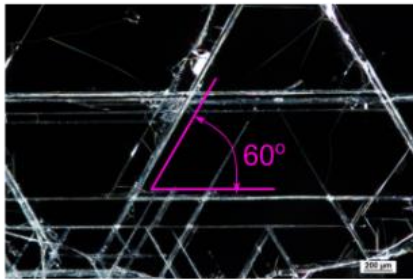


N	Rétegződés
1	1
2	1
3	2
4	3
5	6
6	10
7	20
8	36
9	72
10	136
...	...

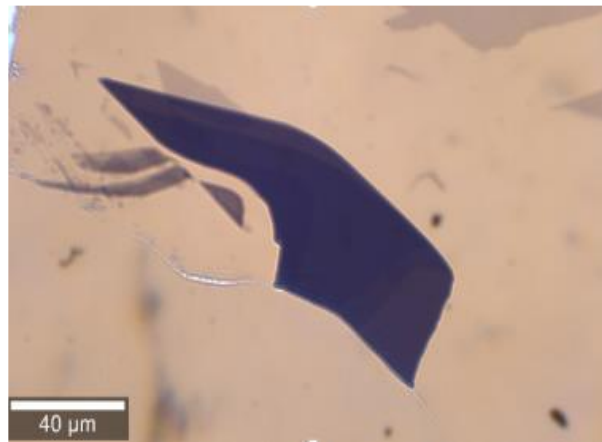
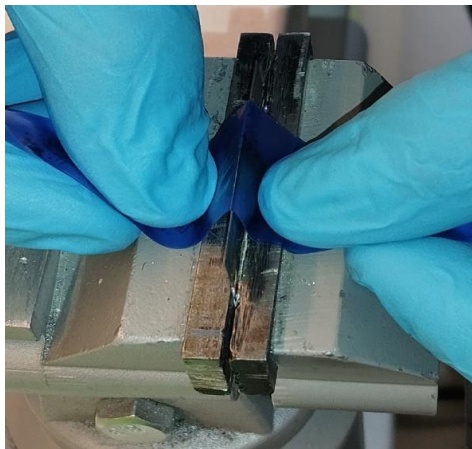
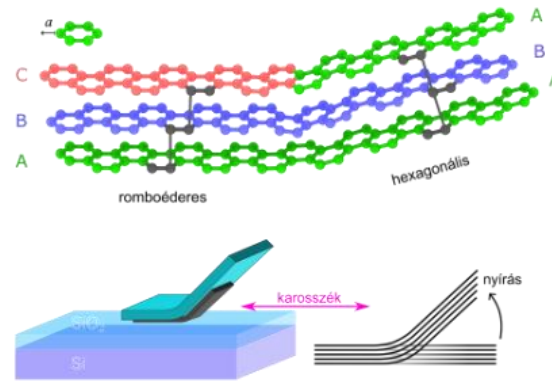
Természetes grafit



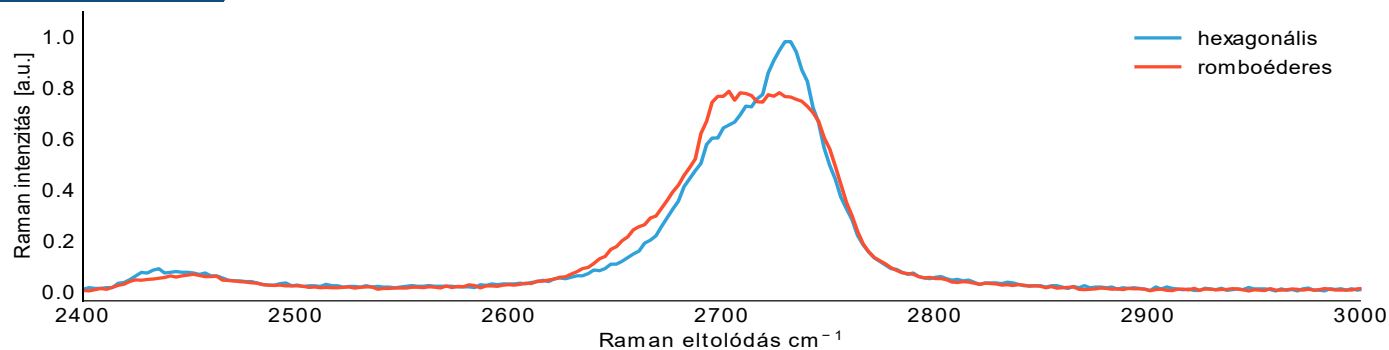
Sötét látóterű optikai felvétel



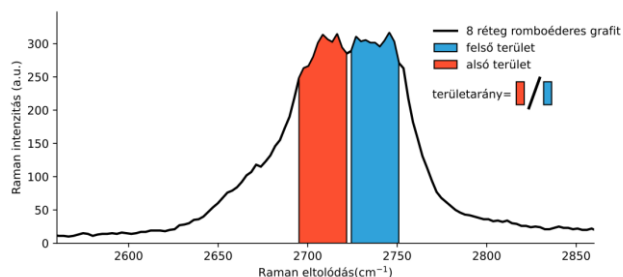
karosszék



- A grafit mintákat irányított mechanikai exfoliációs módszerrel készítettem el
- A még nagyobb mechanikai feszültség érdekében egy tompított pengén húztam át a szalagot így a grafén rétegek jobban meghajlanak.
- Természetes hexagonális grafit karosszék menti nyírásával a hexagonális kristályszerkezettel rendelkező grafit átalakulhat romboéderes kristályszerkezetű grafitná.
  - A grafit mintákat 90 nm-es oxigén plazmázott SiO<sub>2</sub>

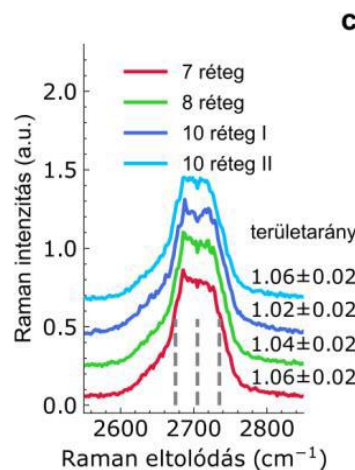
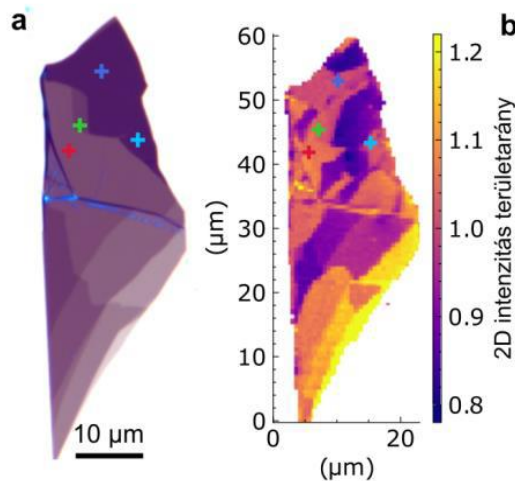
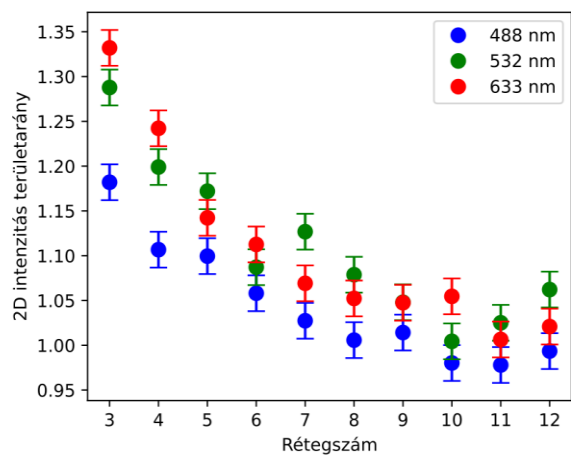


2D csúcs alakja és területaránya megkülönbözteti a romboéderezes és hexagonális grafitot

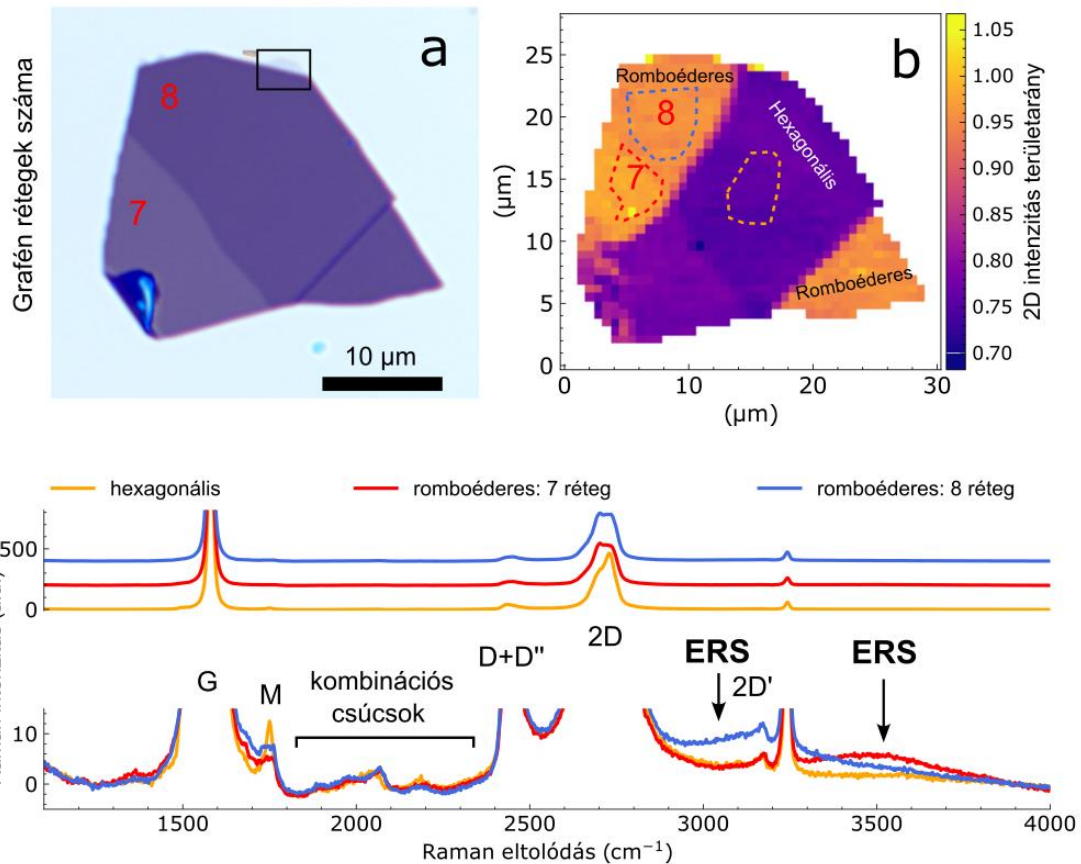


Hátrányok

- Alacsony eltérés rétegszám függvényében
- Rétegződési hiba nem beazonosítható
- Lézerenergiától és teljesítménytől függ a csúcs alakja és pozíciója







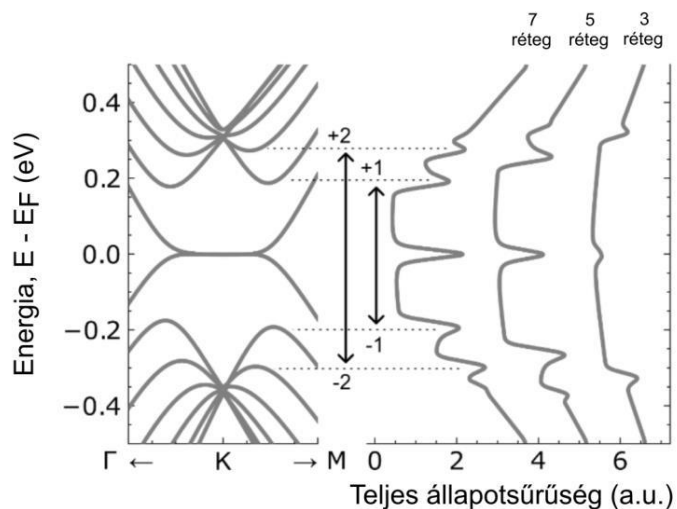
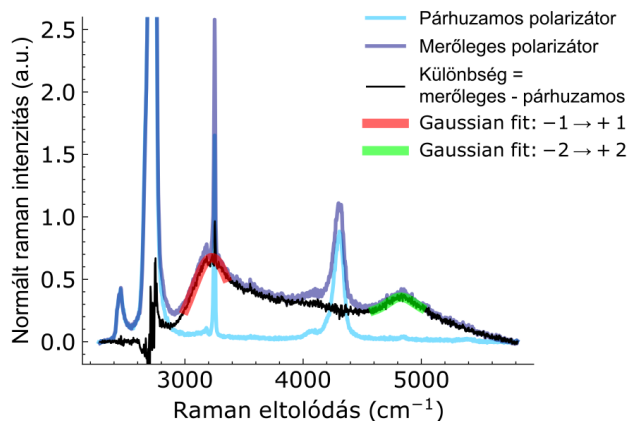
A 2D csúcs elemzése nem elégséges a tiszta romboéderes kristályszerkezettel bíró grafit egyértelmű beazonosítására

Annak érdekében, hogy a romboéderes rétegek számát meghatározzam ERS folyamatból létrejövő csúcsokat vizsgáltam.

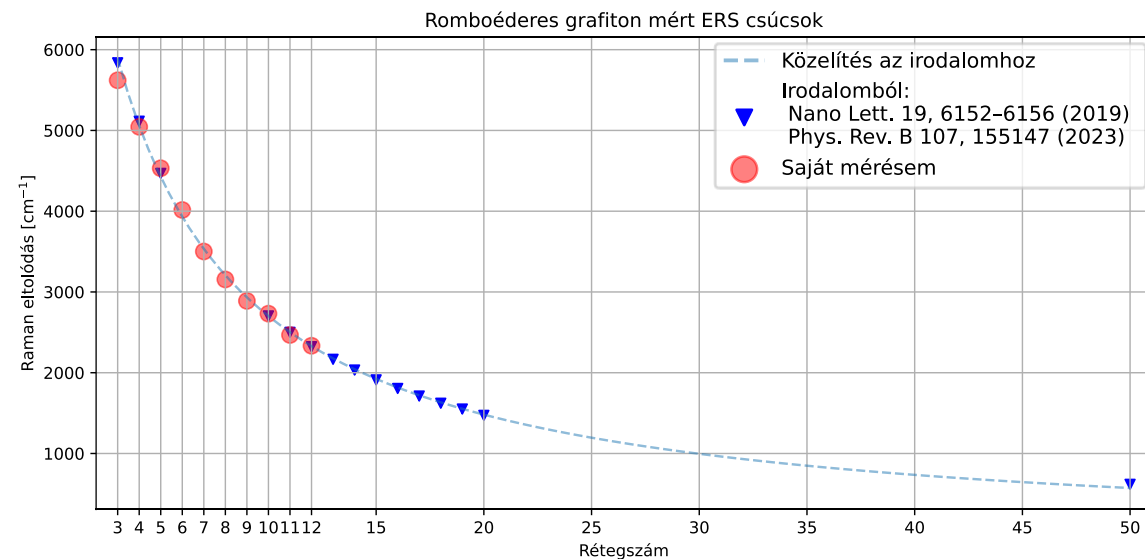
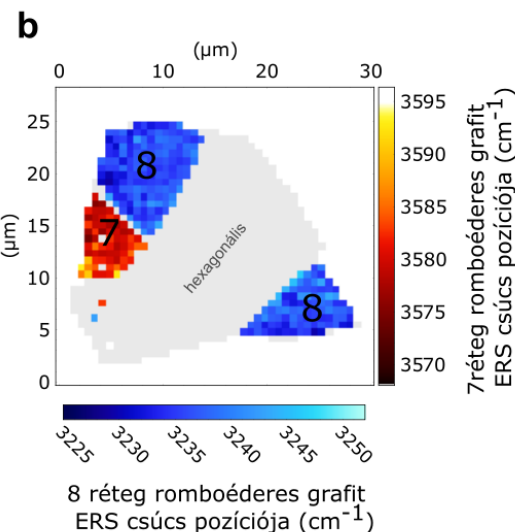
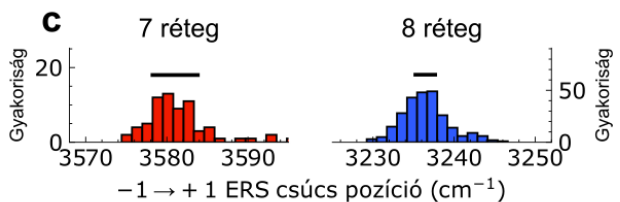
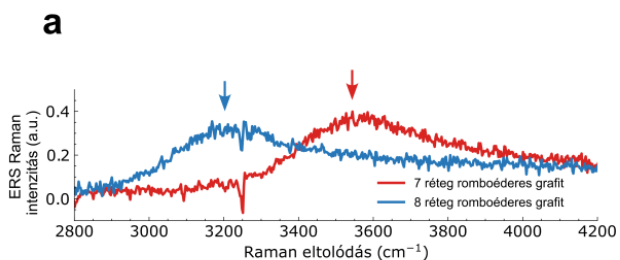
Elektronszerkezeti Raman szórás esetén a kristály elektronszerkezetének nagy állapotsűrűségű pontjai közötti elektron-lyuk pár gerjesztéssel történik a beérkező fotonok rugalmatlan szórása.

A romboéderes grafit elektronszerkezete függ a rétegszámtól. Ezért ez a módszer alkalmas a kristály rétegrendjének beazonosítására

8 réteges romboéderez grafit ERS jelének előállítás



- AFM-el vagy optikai kontrasztszámításból réteg vastagságot kell mérni.
- Raman spektrum készítése, merőleges illetve párhuzamos szórt foton polarizálás mellett
- A spektrumok háttérét le kell vonni.
- Egy fononos csúcsra normálni kell a spektrumokat
- A két spektrumot ezután ki kell vonni egymásból
- Ezután már lehet egy Gauss függvénnyel közelíteni az ERS csúcsokat.
- A Gauss függvények pozíciója arányos lesz a rétegszámmal
- Ha az előzetesen mért vastagság megegyezik az ERS jel által szolgáltatott vastagsággal akkor nincs rétegződési hiba a mintában.



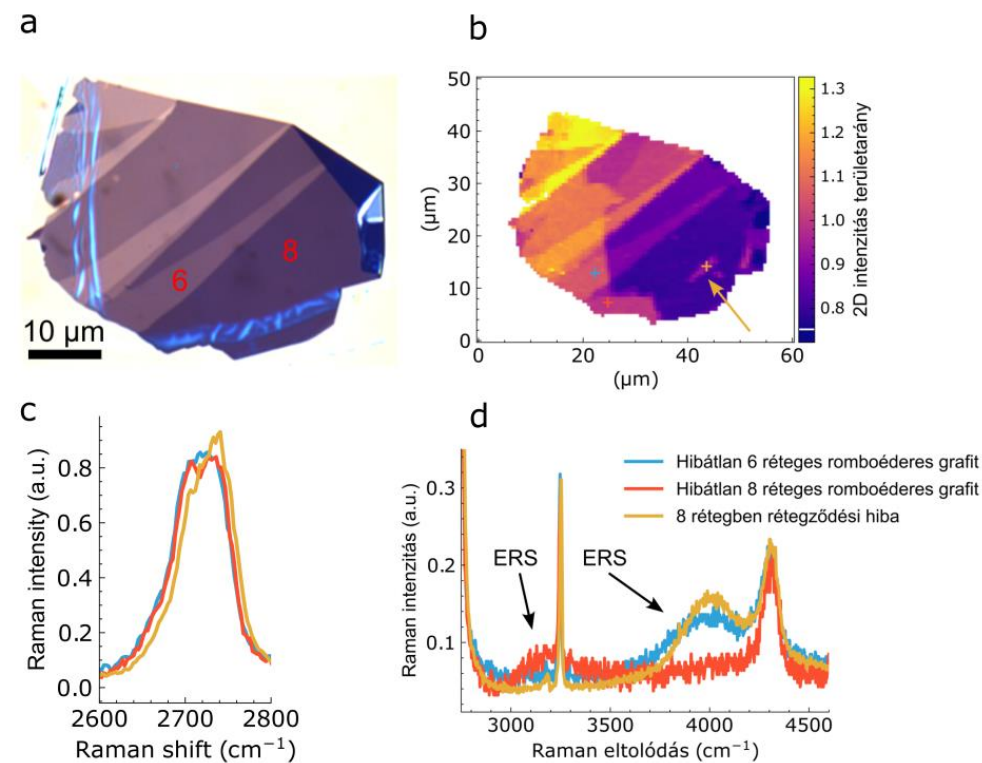
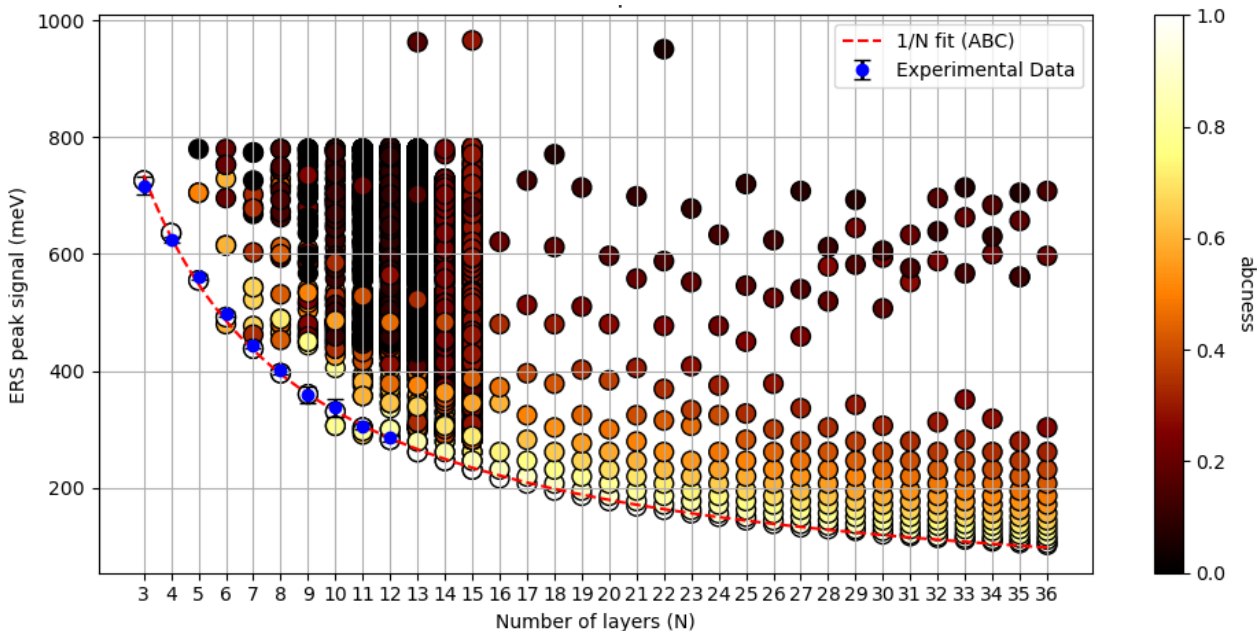
Ha az előzetesen mért rétegszám nem egyezik meg az ERS-ből származó rétegszámmal akkor a minta tartalmaz rétegződési hibát.

Romboédeses grafit ERS csúcs pozíciója rétegződési hiba esetén leolvasható az alábbi ábráról:

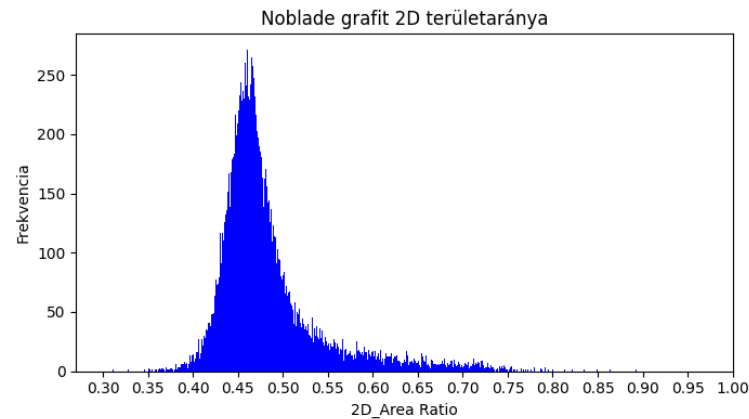
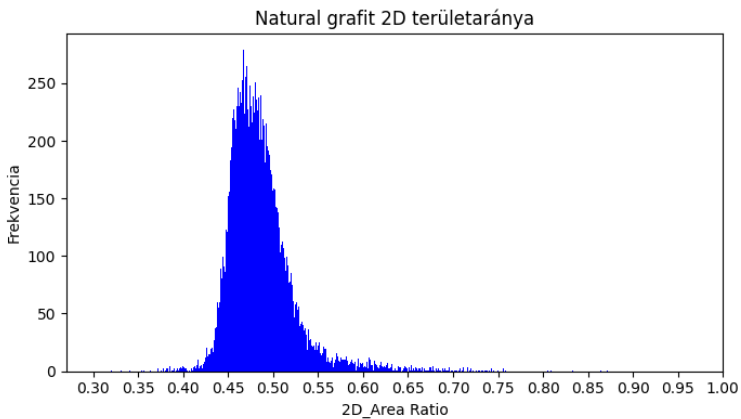
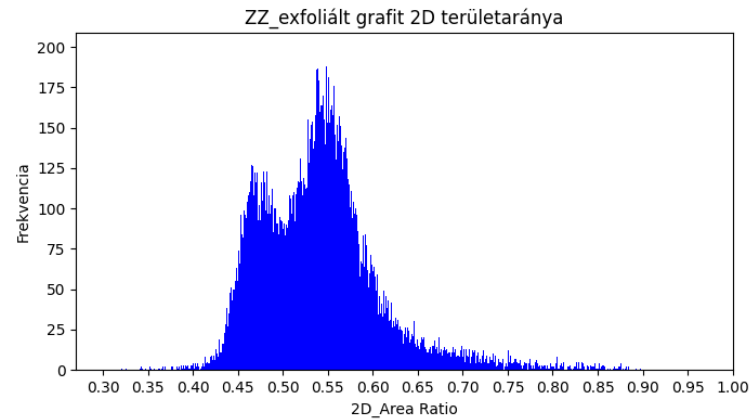
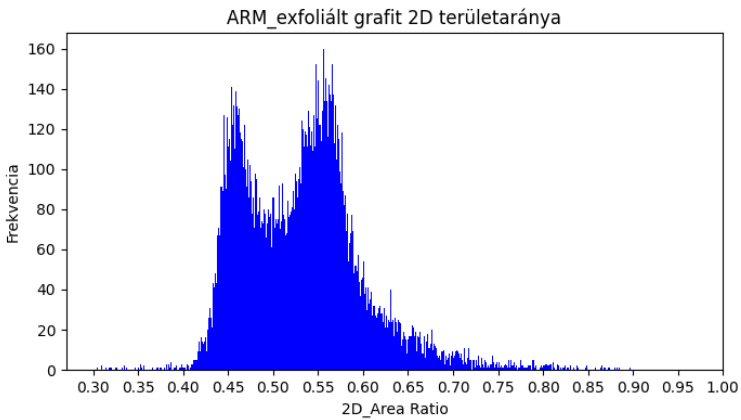
Elmondható az N+1 es rétegződési hibára, hogy az ERS csúcsa magasabb energián van, mint a tiszta N réteg ABC grafité. Jelen esetben a 7 réteg ERS csúcsánál magasabb energián található meg

N+1 es rétegződési hiba: Egy gráfén réteg a minta tetején megsérti az ABC rétegszámot

Példa N+1 es rétegződési hibára







- A természetes grafit romboédeses grafit tartalma csupán 2%
- Exfoliáció megnöveli a romboédeses grafit tartalmát
- A penge elősegíti a romboédeses grafit létrejöttét
- Exfoliáció iránya nem befolyásolja szignifikánsan a romboédeses grafit kialakulását

Típus	Területarány (%)	Terület (mm <sup>2</sup> )
ZZ_Exfoliált	13,91	3,526
ARM_exfoliált	12,73	2,94
Penge_nélkül_exfoliált	6,37	2,89
Természetes_grafit	1,8	2,93

- Egy egyszerű optikai méréssel sikerült a romboéderes grafit rétegrendjét beazonosítanom
- Sikerült a természetes grafit romboéderes tartalmát növelnem és ezt statisztikával alátámasztani

## Jövőbeli tervek

Vizsgálni fogom a rétegvastagság, a kristálytani moiré szuperrácsok és az elektrosztatikus dőpolás hatását romboéderes grafiton STM segítségével.

## Publikációim

Pálinkás, A., Máriy, K., *et al.* Identification of graphite with perfect rhombohedral stacking by electronic Raman scattering. *arXiv* 2401.17779 (2024)

I. Hagymási, I. M. S. Mohd, Z. Tajkov, K. Máriy, L. Oroszlány, J. Koltai, A. Alassaf, P. Kun, K. Kandrai, A. Pálinkás, P. Vancsó, L. Tapasztó, and P. Nemes-Incze, “Observation of competing, correlated ground states in the flat band of rhombohedral graphite,” *SCIENCE ADVANCES*, vol. 8, no.35, 2022.

HUN  
REN



Energiatudományi  
Kutatóközpont

# HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont



ÓBUDAI EGYETEM  
ÓBUDA UNIVERSITY

# Köszönöm a figyelmet!