

ASZTEROIDA-BECSAPÓDÁSHOZ KÖTHETŐ BIZARR SZERKEZETŰ GYÉMÁNTOK

Németh Péter

Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézet, Budapest
Pannon Egyetem Bio-nanotechnológiai és Műszaki Kémiai Kutatóintézet, Nanolab, Veszprém
e-mail: nemeth.peter@csfk.org

1. Bevezetés

Körülbelül 50 000 évvel ezelőtt egy feltehetőleg 11 km/s sebességgel száguldó, megközelítőleg 60 méteres – főként vas és nikkell ötvetből álló – aszteroida csapódott be Észak-Arizona felföldi területére, a mai Flagstaff településtől (Arizona, USA) keletre, létrehozva a mintegy 200 m mély és 1,2 km átmérőjű Meteor-krátert, vagy más néven Barringer-krátert (Nininger, 1956). A becsapódás, amely becslések szerint 10 megatonna TNT-nek – több, mint 600 hirosimai atombomba együttes erejének – felelt meg, intenzív lökéshullámot generált, amely egyaránt érintette a becsapódás területén lévő kőzeteket, valamint az aszteroidából fennmaradt Canyon Diablo vasmeteorit darabjait (Nininger, 1956).

Kutatók már 1891-től a Canyon Diablo meteorit fémszerkezetébe ágyazott, erős savaknak ellenálló, nagykeménységű és kocka alakú szén – a közleményekben gyakran gyémántnak nevezett – anyag jelenlétéről számoltak be (Foote, 1891). Ez a „gyémánt” hamarosan a kutatások középpontjába került. Frondel és Marvin (1967) a vasmeteorit darabjaiból egy új – a jólismert köbös szimmetriájú gyémánttól eltérő – hexagonális szerkezetű gyémántmódosulatot írt le. Feltételezték, hogy az új anyag kialakulása az extrém becsapódási körülményekhez köthető és a módosulatot a híres krisztallográfus, Dame Kathleen Lonsdale tiszteletére lonsdaleitnek nevezték el (Frondele, Marvin, 1967). Az anyag azonosítása röntgendiffrakció (XRD) adatokon alapult, és az XRD felvételt egy hexagonális cellával értelmezték. 1967 óta a kutatók számos olyan természetes és szintetikus anyagról számoltak be, amelyek diffrakciós adatai megegyeztek a lonsdaleittel, és az lonsdaleit ásványnevet a hexagonális gyémánt szinonimájaként használták. A hexagonális szerkezet komoly anyagtudományi érdeklődést stimulált, mivel elméleti számítások arra utaltak, hogy keménysége felülmúlja a köbös gyémánttét (Pan et al., 2009). Azonban önálló, egyfázisú kristályait nem találták meg, illetve nem sikerült szintetizálni.

Előadásomban ultranagyfelbontású transzmissziós elektronmikroszkópi (TEM) képek és XRD mérések elemzésével bemutatom a Canyon Diablo lonsdaleit rendkívül összetett, bizarr szerkezetét. Rámutatok, hogy a különleges szerkezet a széntartalmú anyagok széles körében előfordulhat, és megjelenésének fontos föld- és anyagtudományi szerepe lehet.

2. Anyag és módszer

Minták: Nagykeménységű, savaknak ellenálló szénszemcséket oldottunk ki a Canyon Diablo vasmeteoritból a Németh és munkatársai (2014) közleményben leírt eljárás szerint. A sósavas oldás/nehézsavany elválasztás után a visszamaradt anyagot fekete színű és szabálytalan alakú szemcsék domináltak.

XRD mérés: Az XRD mérések egyrészt egy MoK α sugárforrású ($\lambda = 0,071073$ nm) Bruker SMART APEX egykristály diffraktométerrel,

másrészt egy 2 x 2 mikrométeres szinkrotronnyalábbal ($\lambda = 0,03738$ nm) az ESRF-EBS ID27 beamline létesítményében történtek.

TEM mintaalkészítés, mérés és képfeldolgozás: TEM-es vizsgálathoz a desztillált vízben szuszpendált szemcséket achátmozsárban, valamint két nagykeménységű wolfrám-karbid kocka között törtem össze, majd a szuszpenzióból ~2 ml-t TEM rézrostélyokra szárítottam. A kiválasztott szemcsék egy részéből ~10 x 2 mikrométer területű és ~40–50 nm vastagságú lamellák is készültek egy Thermo Scientific Scios 2 Dual Beam készülékben. A minták vizsgálata egy gömbihiba-korrigált JEOL ARM200F STEM (200 keV, 0,08 nm pontfelbontású) és egy Thermo Fisher Scientific FEI THEMIS 200 (200 keV, 0,07 nm pontfelbontású) mikroszkópban történt. A nagyfelbontású képek értékeléséhez és FFT számoláshoz a Gatan Digital Micrograph 3.6.1 szoftvert használtam. A háttérszűrt képek számolásához 0,06 nm⁻¹-méretű Lorentz maszkolást használtam a hexagonális elrendezésű és ~0,21 nm d-értékű reflexiókra.

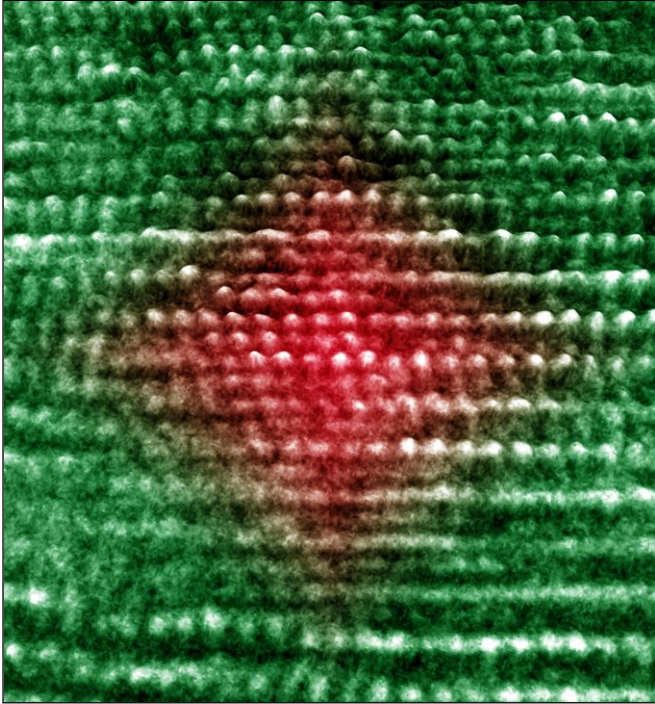
3. Eredmények

Gömbihiba-korrigált, atomi felbontású elektronmikroszkópos vizsgálat szerint a lonsdaleit típusanyaga – a Canyon Diablo nagykeménységű szénszemcsék – nagyszámú rétegződési hibát tartalmaznak (Németh et al., 2014, 2022). Az (111) köbös gyémántrétegek és a mindössze 1–3 rétegvastagságú (0001) hexagonális gyémántrétegek szabálytalan ismétlődésének eredményeként a köbös gyémánt <011> projekciójából készült diffrakciós felvételeken diffúz, elnyújtott csóvák jelennek meg a köbös gyémánt diffrakcióinak környezetében. A Canyon Diablo lonsdaleit XRD felvételén megjelenő köbös gyémánthoz tartozó diffrakciós csúcsokat és azok aszimmetrikus kisélekedéseit rendezetlen köbös és hexagonális rétegekből álló összetett gyémántszerkezet, nem pedig a köbös és hexagonális gyémántok fizikai keveréke magyarázza.

A Canyon Diablo mintában egy új anyagcsalád, a gyémánt-grafén nanoszerkezetek összenövéséből álló diafit nanokompozit is megfigyelhető (Németh et al., 2020, 2022). A kristálytani összenövés módja szerint elkülöníthető az (111) köbös gyémánt és a néhány (0001) grafénréteg váltakozásából felépülő diafit 1, és a köbös gyémánt (13T) kristálylapján összenőtt <Z11> projekciójú köbös gyémánt és <0001> projekciójú grafénrétegek váltakozásából felépülő diafit 2 nanokompozit (1. ábra).

A lonsdaleit ultranagyfelbontású TEM és szinkrotron röntgendiffrakciós vizsgálata rávilágít a rendezetlen köbös és hexagonális rétegekből álló gyémánt, a diafit 1 és diafit 2 egységek változatos összenövésére, és az összenövés eredményeként létrejövő rendkívül összetett, bizarr kristályszerkezetre. A lonsdaleit nem egy diszkrét (különálló) fázis, hanem rendezetlen köbös és hexagonális rétegekből álló gyémánt és diafit szerkezetek

nanokompozitja, ezért javasolt a lonsdaleit anyag és a hexagonális gyémánt szerkezet elkülönítése.



1. ábra – Diafit (kristálytalanul összenőtt gyémánt-grafit) szerkezet a Canyon Diablo meteoritból. A piros gyémánt szimbólummal körvonalazott központi rész (~1,5 nm) jelöli a nanokristályos köbös gyémántot, a zöld szín pedig a grafitot. A piros és a zöld közötti átmeneti szín a gyémánt és grafit átmeneti kötéstípusára utal

A grafén és gyémánt szerkezetek közötti különböző összenövési típusok felismerése révén közelebb kerülhetünk az aszteroida-beccsapódások során fellépő nyomás- és hőmérsékletviszonyok jobb megértéséhez. A diafitok szabályozott előállításával nemcsak ultrakemény, hanem képlékeny, valamint a vezetőtől a szigetelőig hangolható elektronikai tulajdonságokkal rendelkező anyagokat is tervezhetünk. A felfedezés megnyitja az ajtót az izgalmas mechanikai és elektronikus tulajdonságokkal rendelkező új típusú gyémántszerű anyagok előtt; új alkalmazások jöhetnek létre a csiszolóanyagoktól az elektronikán át a nanomedicináig és a lézertechnológiáig.

Irodalomjegyzék

- Foote, A.E. (1891): American Journal of Science, **S3-42/251**, 413–417.
- Fronde, C., Marvin, U.B. (1967): Nature, **214**, 587–589.
- Németh, P., Garvie, L.A.J., Aoki, T., Dubrovinskaia, N., Dubrovinsky, L., Buseck, P.R. (2014): Nature Communications, **5**, 5447
- Németh, P., McColl, K., Smith, R.L., Murri, M., Garvie, L.A.J., Alvaro, M., Pécz, B., Jones, A.P., Corà, F., Salzmänn, C.G., McMillan, P.F. (2020): Nano Letters, **5**, 3611–3619.
- Németh, P., Lancaster, H.J., Salzmänn, C.G., McColl, K., Fogarassy, Zs., Garvie, L.A.J., Illés, L., Pécz, B., Murri, M., Corà, F., Smith, R.L., Mezouar, M., Howard, C.A., McMillan, P.F. (2022): Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, **119/30**, e2203672119
- Nininger, H.H. (1956): Arizona's Meteorite Crater, World Press, Denver, Colorado, 232 p.
- Pan, Z., Sun, H., Zhang, Y., Chen, C. (2009): Physical Review Letters, **102**, 055503