

Bírálat

Németh Gergely

„Near-field infrared microscopy of individual single-walled carbon nanotubes and their hybrid systems”

című doktori (PhD) értekezéséről

Németh Gergely doktori munkája időszerű és nagy érdeklődésre számot tartó. A nemzetközi kutatások homlokterében álló anyagokat vizsgált élvonalbeli kísérleti módszerrel.

A szén nanocsövek vizsgálata, más alacsonydimenziós rendszerekével együtt, napjaink anyagtudományi kutatásainak egyik vezető területét jelenti. Ennek oka az, hogy az alapkutatások szemszögéből nézve izgalmas jelenségek mellett a szén nanocsövek alkalmazási lehetőségei is ígéretesek, egyebek között például nanoelektronikai, nanooptikai szempontból. Sok alkalmazás esetén kényes pont az egyedi nanocsövek pontos fajtájának, az ún. kiralitási indexeknek a meghatározása, néha viszont elegendő csak annyit tudni, hogy egy nanocső fémes, vagy félvezető jellegű-e. Külön érdekes terület a szén nanocsövek módosítása a külső felületén történő funkcionálizálás segítségével. Ennél talán még izgalmasabb, hogy a nanocső belső, üres terébe különféle szerves vagy szervetlen komponensek juttathatók be, és ezen atomok vagy molekulák között újszerű kémiai reakciók játszódhatnak le a nanocső fala által határolt egyszimmetrikus reakcióterében.

Az egyedi nanocsövek kísérleti vizsgálata szempontjából kiemelkedő jelentőségű a Jelölt által alkalmazott szórás típusú pásztázó közeltér mikroszkópia (s-SNOM). Ezzel az élvonalbeli módszerrel kikerülhető a hagyományos optikai spektroszkópiáknál föllépő diffrakciós limit, és elérhető akár 20nm térbeli felbontás, még infravörös fény használata esetén is. A Jelölt szerencsére már mesterszakos korában elsajátította a közeltér mikroszkópiához szükséges tudást. A módszer elméleti és kísérleti alapjait szépen és részletesen le is írta a bevezető fejezetekben.

Megjegyzendő, hogy az igényes, magas színvonalú kísérleti munka elvégzéséhez a Jelölt nyilvánvalóan sokat köszönhet témavezetőjének, Kamarás Katalinnak, továbbá a témavezető csoportjában dolgozó, illetve a csoporttal együttműködő hazai és nemzetközi partnereknek.

Maga az összesen 8+129 oldalas, angol nyelvű dolgozat szép kiállítású, jól olvasható, logikusan fölépített. Tetszett, hogy az eredményeket tárgyaló mind a három fejezet elején van egy rövid motiváció, a végén pedig egy rövid konklúzió, az odatartozó tézispontokkal.

Az egyes részek/fejezetek a következők: az elején lévő 8 oldal (címlap, köszönetnyilvánítás és tartalomjegyzék) után, 2 oldal bevezetést követően, 16 oldalon tárgyalja jól érthető módon a távolter és a közeltér közötti különbséget, és a nagyfelbontású közelterű mikroszkópia alapjait. Ezután 13 oldalon összefoglalja azokat az elméleti tudnivalókat, amelyek a tű és a minta közötti kölcsönhatások leírásához szükségesek. Mielőtt rátérne saját eredményeire, 13 oldalon ismerteti a grafénnek és a szén nanocsöveknek a saját mérései szempontjából releváns elektromos és optikai tulajdonságait. A saját eredményeket bemutató rész három fejezetből áll, ezek a következők: egyedi fémes és félvezető szén nanocsövek megkülönböztetése szórás közeltér mikroszkópiával (13 oldal), nikkel atomcsoportok kimutatása és vizsgálata szén nanocsövek belsejében (11 oldal) és végül szén nanocső plazmonjai és a hordozó felület fononjai között erős csatolással kialakuló hibrid állapotok

kimutatása és vizsgálata (34 oldal). A dolgozat végén összefoglalva szerepelnek a legfontosabb következtetések (2 oldal) illetve a tézispontok és a hozzájuk kapcsolódó saját cikkek (2 oldal), valamint saját eddigi 11 publikációjának jegyzéke (2 oldal). Az értekezést egy hasznos jelöléseket és képleteket tartalmazó 5 oldalas függelék követően egy 16 oldalas, 220 tételből álló irodalomjegyzék zárja. Ez utóbbi egyben jelzi a Jelölt tájékozottságát a vizsgált területen.

A magyar nyelvű „Összefoglalás” lényegében hű fordítása a dolgozat angol nyelvű összefoglalójának, azonban fogalmazásában gyengébb annál, és sok elírást, helyesírási hibát tartalmaz. Magában a dolgozatban viszont alig van elírás vagy más figyelmetlenségből eredő hiba, csupán mutatóban sorolok föl néhányat, hogy azért akad:

- 7.o. „few nanometers form the sample” → „few nanometers from the sample”

- 21.o. Az $E_{\text{inc}} = \sigma E_{\text{scat}}$ képlet fordítva van: $E_{\text{scat}} = \sigma E_{\text{inc}}$

- 24-25.o. A 3.2 ábrán, és az azt követő szövegben R, L és A értéke gondolom nm-ben van, de ez nincs odaírva. Hasonlóan néhol később is előfordul ez a hiba.

Az, hogy ilyen kevés az elírás, nyilván a házi védés során történt gondos ellenőrzésnek a következménye.

Az értekezéssel kapcsolatos kérdéseim:

1) A 2.3 fejezetben, az s-SNOM kísérleti elrendezés leírásánál szerepel, hogy a letapogató tű megvilágítása 60° -os szögben történik. A házi védés egyik kérdésére adott válaszból kiderül, hogy ez a szög optimális. Ugyanakkor a 3.5 fejezetben szerepel, hogy bizonyos nem-lokális effektusok kiküszöbölhetők a minta megfelelő irányba történő elforgatásával. Ez pontosan hogyan történik? Jól gondolom, hogy itt a mintának a saját síkjában történő elforgatásáról van szó, vagy valamit félreértetek?

2) A vezetőképességben megfigyelhető THz-es csúcs jellemzőiben okozna-e észrevehető változást, ha a plazmon-rezonancia mellett mégis szerepet játszanának a görbületi effektusok is, a nagyon kis átmérőjű nanocsövek esetén. Másképpen kérdezve: milyen indokok miatt zárhatók ki a görbületi effektusok az analízisből?

3) A 7.2 fejezetben utalást tett „egzotikus polaritonokra”. Kérem ismertessen ezek közül *néhány* olyan fény – anyag kvázirészecskét, amelyek nem esnek nagyon távol a szén nanocsövektől, és magyarázza meg, hogy miért nem játszanak szerepet a vizsgálataiban.

Visszatérve az eredményekhez: azok 3 témakörbe csoportosíthatók, és azokról a Jelölt 6 tézispontot fogalmazott meg. s-SNOM segítségével különbséget tudott tenni SiO_2 hordozóra helyezett egyedi fémes és félvezető szén nanocsövek között. s-SNOM segítségével kimutatta a szén nanocsövek belsejében növesztett nikkell klasztereket, továbbá kvantitatív egyezést talált a kiterjesztett véges dipólus modellel számolt és a kísérletileg mért fáziskontraszt között. Talán a harmadik téma a legérdekesebb, Közelterű polariton-interferometria segítségével kimutatta az egyedi fémes nanocső Luttinger-folyadék plazmonja és a szilícium hordozó felületi fonon-polaritonja közötti csatolás következtében kialakult hibrid állapotot. Számolással megmutatta, hogy a csatolás az ultraerős tartományba esik. Megmutatta továbbá, hogy a csatolás már néhány nanométer vastagságú hBN réteg közbeiktatásával megszüntethető. A felsorolt 6 tézispont mindegyikét elfogadhatónak tartom.

A tézispontokhoz 3 cikk kapcsolódik, melyek mindegyikében a Jelölt az első szerző. A 3 folyóirat: *physica status solidi (b)*; *Royal Society of Chemistry Advances*; *Nano Letters*. Ezeken kívül a Jelölt még 8 további cikkben szerepel társszerzőként, két esetben első szerző.

Összefoglalva: Németh Gergely értékes munkát végzett és eredményeit egy szép disszertációban mutatta be. A tézispontokat elfogadom, a dolgozatot és a végzett munkát egyértelműen alkalmasnak tartom a nyilvános vitára.

Budapest, 2022. október 31.



Kürti Jenő
professzor emeritus
ELTE, Biológiai Fizika Tanszék