

Opponensi vélemény

Osváth Zoltán “*Grafén alapú hibrid nanoszerkezetek kialakítása és jellemzése*” című MTA doktori értekezéséről

Osváth Zoltán doktori értekezésében grafén nanoszerkezetekkel kapcsolatos kísérleti kutatásainak eredményeit foglalja össze. Az atomi vékony anyagok és az ezek segítségével készíthető hibrid rendszerek a szilárdtestfizika elmúlt 20 évének egyik legdinamikusabb témakörét jelentik. Ezen a széles területen belül a Szerző nanométeres hosszskálával jellemezhető hibrid szerkezetek kísérleti előállításával és tulajdonságaik jellemzésével foglalkozott. A tanulmányozott nanoszerkezetek között szerepeltek pl. grafén nanopöttyök, nanobuborékok, illetve grafén védőbevonattal ellátott fém nanorészecskék. Ez utóbbi rendszernek a dolgozat végén egy lehetséges felhasználását is bemutatja.

Az értekezés tagolása követi a tudományos értekezések szokásos felépítését. A bevezető fejezet után szakirodalmi áttekintést ad a grafén alapvető tulajdonságairól, a grafén minták készítésének kísérleti módszereiről, a grafént tartalmazó hibrid szerkezetekben gyakran fontos ún. moiré effektusról, illetve egy külön alfejezetben a plazmonikus nanorészecskékről. Ezek után összefoglalja a munkája során használt kísérleti módszereket (pásztázó alagút mikroszkópia és alagút spektroszkópia, illetve Raman spektroszkópia). Ezt követi a 4. fejezet 13 alfejezetében a saját eredményeinek bemutatása. A dolgozat szakmai része a tézispontokkal és a hivatkozott szakirodalommal zárul.

Az értekezés magyar nyelven készült, a stílusa világos és lényegretörő. Egy-két helyen talán lehetett volna figyelni, hogy ne maradjanak benne idegenül hangzó megfogalmazások, mint pl amikor a szénatomok “orbitáljairól” ír (7. oldal). Az értekezés gondosan kivitelezett, felépítése világos. Megjegyzem azonban, hogy a 4. fejezet egyes alfejezeteiben, amelyek a saját eredményeket mutatják be, semmilyen bevezetés nem található, rögtön a konkrét eredmények ismertetésével kezdődnek. Azok számára, akik nem a Szerző szűkebb szakterületén dolgoznak, könnyebben olvashatóvá és befogadhatóvá tenné a dolgozatot pár bevezető sor a konkrét munka mögötti motivációról, esetleg arról, hogy milyen tágabb kontextusba illeszkednek a vizsgálatok.

Az összesen 11 tézispontban összefoglalt új tudományos eredmények 15 évnyi kutatómunkán alapulnak. Az eredmények 15 közleményben jelentek meg, rangos nemzetközi folyóiratokban (ezek közül pl kiemelhető, hogy 3 cikk a *Carbon*-ban, 4 cikk a *Nanoscale*-ben került publikálásra).

Kérdések:

1. A 27(a) ábrán látható grafénpötty tulajdonságait STM mérésekkel tanulmányozta a Szerző, a kapcsolódó eredmények egy része a 28. ábrán kerültek összegzésre. Ezzel kapcsolatban két kérdésem lenne:

a) 28. ábra felső sorában látható STM felvételek a dolgozat szerint a grafénpötty közepén készültek. A mintázat mind a három képen helyfüggőnek tűnik: pl a felső sor jobb szélső ábráján a fehér körrel jelzett területen levő mintázat eléggé eltérőnek tűnik ugyanezen ábránának a jobb felső részén látható mintázattól. Ezt mi okozhatja? A grafénpötty szélei hatással vannak annak közepén is az állapotsűrűsége?

b) A 28. ábra középső sorában a szimulált STM felvételeket mutatja. Mi a kapcsolat a felső sor (mérési eredmények) képein fehér körrel jelzett területek és a középső sor (szimulációs eredmények) fehér körrel jelzett területei között? Itt látható jó egyezés a kettő között? Ezekre a területekre vonatkozik a T1 publikációban szereplő “Taking into account the electron-electron interaction, we can quantitatively reproduce the measured STM images” mondat? (a kiemelés tőlem származik).

2. A 33. ábrán kis elforgatási szögű grafén/HOPG nanoszerkezeten végzett mérések és az értelmezésükhöz végzett elméleti számolások láthatóak. Az elméleti eredmények szerint a szétnyíló tartomány két oldalán eltérő jellegű deformáció jellemzi a grafén rácsot: A felső (B) részen főleg a grafén rácsvektorok nagyságának a változása, az alsó (C) oldalon pedig az α és ω_0 szögek változásával írható le a moiré mintázat. Mi lehet az oka a két oldalt jellemző deformáció típusok közötti különbségnek? A HOPG szubsztrátum milyen inhomogenitása játszhat szerepet?

3. A 4.4 fejezetben a Szerző többek között nanoüregek felett felfüggesztett graféneken végzett nanointendációs méréseket. Az egyik esetben (42. ábra) a nanoüreg sugara $a_0 \approx 74\text{nm}$ volt, és a felfüggesztett grafén $\delta_0 = 10.1\text{ nm}$ mélyre süppedt az üreg közepén. A másik vizsgált nanoüreg (43. ábra) sugara $a_0 \approx 80\text{nm}$, a bemélyedés pedig $\delta_0 \approx 7\text{ nm}$ -nek adódott. Tehát a nagyobb sugarú nanoüreg felett felfüggesztett grafén kevésbé süppedt be, mint a kisebb sugarú nanoüreg felett felfüggesztett. Számomra ennek a fordítottja lenne intuitívan könnyen érthető. Mi befolyásolja a δ_0 értékét?

Összefoglalva, a Szerző érdekes és értékes munkát mutat be a doktori értekezésben. A megfogalmazott 11 tézispontot a Szerző saját eredményeinek fogadom el. Javaslom a dolgozat nyilvános vitára bocsátását és sikeres védelem esetén a doktori cím odaítélését.

Budapest, 2025. október 13.

Kormányos Andor
ELTE, Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék