



PÁZMÁNY 1635  
— alapította —

# Pázmány Péter Catholic University

## Faculty of Information Technology and Bionics

1083 Budapest, Práter u. 50/A

Tel.: 886-4700

csaba.gyorgy@itk.ppke.hu

### **Bírálat Fülöp Bálint „Van der Waals heterostructures: from fabrication to hydrostatic pressure experiments” c. doktori értekezéséről**

Élvezettel olvastam Fülöp Bálint doktori értekezését, a van der Waals kristályokon végzett sokéves kísérletező munka összefoglalását. Mielőtt a munka részletes bírálatába kezdenék, szeretném benyomásaimat pár mondatban összefoglalni.

Mindenekelőtt, a munka világszínvonalú, a tudományos kutatás élvonalába tartozó kutatást ismertet. A publikációk listája is ezt bizonyítja. Sikerességének az is bizonyítéka, hogy további kutatások kísérleti alapját teremtette meg, következő PhD generációk munkája kiindulási pontjául szolgálhat. A munkából nyilvánvaló a PhD jelölt kiváló kísérletező képessége és szorgalma, átfogó és „up to date” tudása a szerteágazó területről.

Ami viszont nagyon hiányzik a tézisből, az a sztori: a doktori munka egymást követő kísérletek tárgyyszerű leírásának tűnik, hiányzik az egész művön végig vitt kérdésfelvetés, a project eleje, vége vagy a szakterület egyéni perspektívájának bemutatása. Hiányzik az lehetséges alkalmazások tárgyalása. A mű sok helyütt a tématerület enciklopédikus leírásának tűnik, semmint doktori értekezésnek.

A munka második fejezete a téma elméleti áttekintését adja. Az összefoglaló nagy ívű, nem hagy hiányérzetet. Sokszor nem világos azonban, mi a fontossága, jelentősége az egyes levezetéseknek. Hiányzik a nyitott kérdések hangsúlyozása. Nem világos, hogy az alkalmazások (pl. tranzistorok) szempontjából mik a fő kérdések, miért előnyösek vagy hátrányosak a vizsgált struktúrák pl. szilícium alapú eszközökkel összehasonlítva.

A harmadik fejezet jó áttekintést ad az alkalmazott kísérleti módszerekről, bár a fejezet kissé strukturálatlannak tűnik. Nem világos, hogy az „Applications” fejezet miért került ide.

A negyedik fejezet a jelölt egyik legfontosabb önálló eredményét, BiTel rétegek leválasztását mutatja meg. Nagyon hasznos hogy numerikus (DFT) szimulációk támogatják a kísérleti eredményeket. A fejezet sajnos szintén egy csapásra ér véget, a BiTel meg sincs említve a dolgozat hátralevő részében.

Az ötödik, viszonylag rövid fejezet grafén kontaktusok készítésének módját, azok karakterizálását mutatja be. A módszer eredetisége az hogy a kontaktusok a grafén belsejére kerülnek és igen alacsony kontakt ellenállást mutatnak. Az eredmény mindenképpen

hasznos új módszer a nanorétegek mérésének eszköztárában, bar ebben a részben talán kevésbé világos, hogy a csapatmunkában mekkora része volt a jelöltnek.

A hatodik és hetedik fejezet talán a jelölt legeredményesebb és legeredetibb munkáját, a van der Waals heterostrukturák nyomás alatti összeállítását mutatják be, a kísérleti berendezés megépítésétől magnetokonduktancia mérésekig. A hatodik fejezet élvezetes olvasmány, érezhető, hogy a berendezés tervezése, a kísérleti berendezés építésekor a jelölt elemében van. A módszer eredeti és valóban új területet alapít. A berendezés segítségével elvégzett magnetotranszport mérések bemutatják a módszer alkalmazását. Valóban a 6-7 fejezet a munka számomra leginkább kerek és legszínvonalasabb része, bemutatja hogy a jelölt a berendezés építésétől eljutott mérések végzéséig.

A jelölt elsőszerzős cikkei mind igen jó idézettséggel büszkélkedhetnek, ami egy ilyen kompetitív területen komoly eredménynek számít. A jelölt tézisei mind egy-egy cikkhez kötődnek – a cikkek idézettsége a tézisek minőségének objektív mércéjeként szolgál. A tézisek eredeti tudományos eredményként elfogadhatók.

Összességében, a dolgozat kiváló, magas színvonalú kísérleti munkát ír le, a jelölt tehetségét bizonyítja a „from scratch” megvalósított kísérleti elrendezések, azok megtervezése, alapos megértése bizonyítja. Az elméleti anyagból csak a szükséges minimum szerepel a dolgozatban és meglehetősen töredékesen. Az adott fejezetekhez tartozó legszükségesebb háttér azonban mindenütt megtalálható.

Mint a bevezetőben már említettem a munka legfőbb hiányossága, hogy legtöbbször nem világos milyen elméleti kérdésfeltevések irányítják, motiválják a kísérleti munkát. Mi a nagy kép, vagy az „application driver” a munka mögött. Ez alól talán csak a 6-7 fejezet képez kivételt. Megítélésem szerint egy kísérleti tézis esetén ezek a hiányosságok elfogadhatók.

A dolgozat olvasásakor hiányérzetet hagyott az, hogy nem derült ki, a jelölt által kifejlesztett eszköztár miként lehetne eszközök építésére használni - a védés talán jó lehetőséget adna e szálak elvarrására. A védés során nagyon szívesen hallanék a tanulmányozott strukturák alkalmazásáról elektronikus építőelemekben (tranzisztorok, magnetoelektronikus eszközök, szenzorok). Az elektronikus eszközök kutatásának ma egyik fontos iránya az un. spin-orbit-logic eszközök fejlesztése. Kíváncsi lennék, hogyan látja a jelölt, lehet-e itt helye a van der Waals heterostrukturáknak.

Kérdéseim elsősorban a munka elvarratlan szálaira vonatkoznak:

1 : A 6. és 7. fejezetekben gate elektróda segítségével mérések sokszor kerülnek említésre (és még jóval korábban, Fig 2.7 is egy AU top gate-el rendelkező eszközt mutat), de nem világos, hogy a 7. fejezet ábra mérései gate-el vagy anélkül készültek-e (úgy tűnik ezek gate-el mérések, de Fig 7.1a nem mutatja a gate-et és ez zavaró). Lehetséges lenne a magnetokonduktancia méréseket fix mágneses térrel, a tranzisztoroknál szokásos módon ábrázolni  $I_d(V_{ds})$  görbét a tranzisztoroknál szokásos módon, különböző mágneses terek és gate feszültségek mellett?

2 : Mennyire jól használhatók a vizsgált vdW heterostrukturák lokális mágneses ter mérésére? Össze tudna hasonlítani egy Ön által mert vdW eszköz érzékenységet egy elterjedtebben használt mágneses tér szenzorral (i.e. GMR, SOC hatason alapulo eszkozokkal)? Amennyiben a vizsgált vdW heterostrukturakat egy mágneses filmhez (pl. YIG-hez) 'szoritanank' az on által épített prés segítségével, merhető lenne-e a mágnesezettség a filmben? Itt természetesen véleményére, perspektívára lennek kíváncsi!

3: Lat-e lehetőséget arra, hogy a rétegek összenyomását egy prés helyett magában a struktúrában keltett nyomások biztosítsák? Másképp fogalmazva, létezik-e, létezhet-e pl. heterostrukturakra hasonló megoldás mint a strained silicon a félvezetőiparban?

4. Szeretnek egy 'nagykép'-et (rövid irodalmi áttekintést) kapni vdW heterostrukturák alkalmazhatóságáról a jövő lehetséges elektronikus eszközeiben.

Budapest, 2022 Szeptember 4



Dr. Csaba György  
egyetemi docens