

Kétdimenziós hibrid nanostruktúrák vizsgálata

Összefoglaló

Kedves Máté

Témavezető: Dr. Makk Péter

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

A kétdimenziós (2D) anyagok családja az elmúlt két évtizedben gyorsan növekedett, lehetővé téve a grafén fizikai tulajdonságainak testreszabását grafént és más 2D anyagokat ötvöző van der Waals heteroszerkezetek létrehozásával. Például, ha a grafént ilyen heteroszerkezetekben átmeneti fém-dikalkogének (transition metal dichalcogenide, TMD) közelébe helyezzük, abban nagy spin—pálya kölcsönhatás (spin—orbit coupling, SOC) indukálható. Ez jelentős lendületet adott a spintronikai kutatásoknak. A grafén nagy spin-diffúziós hosszának és a spinek elektromos térrel történő manipulálásának kombinációja lehetővé teheti az elektronok spin információját felhasználó információátviteli eszközök megvalósítását. Másrészt ez az úgynevezett közelségindukált spin—pálya kölcsönhatás új lehetőségeket nyitott meg a topológikus fázisok vizsgálatára grafénben: lehetővé vált például kétrétegű grafénben egy sávinvertált fázis kísérleti megfigyelését, amelyben helikális éllállapotok megjelenése várható.

A célom az volt a doktori kutatásaim során, hogy megvizsgáljam a közelségindukált SOC jelenségét grafén/TMD heterostruktúrákban, a lehetőségeket annak erősségének növelésére, illetve, hogy ötvözzek ilyen heterostruktúrákat szupravezető kontaktusokkal. Először bemutatom a közelségindukált SOC vizsgálatát lehetővé tevő van der Waals heterostruktúrák készítésének módját. Alacsony hőmérsékletű transzportmérésekkel meghatározzuk a kialakuló SOC típusát és erősségét egyrétegű grafénben, illetve az ebből adódó nagy spin-relaxációs anizotrópiát. Hidrosztatikai nyomás segítségével a heterostruktúrák rétegei összenyomhatóak, ezáltal az indukált SOC nagysága jelentősen megnövelhető. A hidrosztatikai nyomás alkalmazására egy nyomáscellát használunk, amiben kerozin közeg összenyomásával növelhető a mintákra ható hidrosztatikai nyomás. Megmutatjuk, hogy a grafén elektromos tulajdonságai megőrizhetők a nyomáscella kerozin közegében is, ha a grafént egy 2D szigetelő réteggel, hexagonális bór nitriddel fedjük. Továbbá, bemutatom, hogy a közelségindukált SOC jelentősen megnövelhető kétrétegű grafén/TMD heterostruktúrákban és a SOC miatt kialakuló sávinvertált fázis ezáltal stabilizálható. Ezen kívül megvizsgálom az indukált SOC szupravezetésre gyakorolt hatását különböző grafén/TMD heterostruktúrákon. Szupravezető kontaktusok készítésével a heterostruktúrákon Josephson átmeneteket alakítunk ki. Az SOC jelenléte a Josephson átmenetek áram—fázis relációját befolyásolhatja, amiben anomális fázistolások jelenhetnek meg. Ennek vizsgálata érdekében bemutatom az áram—fázis reláció mérését grafén/TMD heterostruktúrákon. Továbbá, a többterminális Josephson átmenetek elméleti munkák alapján alkalmasak lehetnek topológikusan nemtriviális sáv szerkezetek mesterséges létrehozására. Ezáltal, több szupravezető kontaktus készítése alternatívát jelenthet a spin—pálya kölcsönhatásra, hogy topológikus állapotokat hozzunk létre Josephson átmenetekben. Ebben a tézisben alacsony hőmérsékletű transzportmérések segítségével vizsgálom egy háromterminális grafén alapú Josephson átmenetet. A kísérleti eredményeket összehasonlítom egy rezisztíven söntölt Josephson átmeneteket tartalmazó hálózat modeljével. Továbbá, megmutatom, hogy az eszközben kialakuló fűtési effektusokat figyelembe kell venni, hogy a szimulációk és a mérési eredmények között jó egyezést kapjunk.