

Spektroszkópia magnetoelektromos és spirális antiferromágnesekben

Összefoglaló

Tóth Boglárka

Témavezető: Dr. Bordács Sándor

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Budapest, 2025

Az információs technológiák folyamatos fejlődése - amelyet napjainkban a mesterséges intelligencia (artificial intelligence – AI), a gépi tanulás és a dolgok internete (internet of things – IoT) példáz - gyorsabb és hatékonyabb számítógépes és memóriaeszközöket igényel. Ahhoz, hogy lépést tudjunk tartani a emberiség ezen gyorsan növekvő igényeivel, gyökeresen új technológiákra van szükség. Egy lehetőség az antiferromágnesek spintronikai alkalmazása, mely új lendületet adott az antiferromágneses (AFM) anyagok tanulmányozásának. Az ilyen anyagok alkalmazása jelentős előnyökkel járhat, mivel (1) az AFM rendek változatossága új lehetőségeket kínál az információ kódolására, (2) THz dinamikájuk nagy sebességet ígér, és (3) a makroszkopikus mágnesezettség hiánya robusztussá teszi őket a szórt mágneses terekkel szemben. A technológiai fejlődés szempontjából kulcsfontosságú a potenciálisan alkalmazható anyagok fizikai tulajdonságainak mélyebb megértése. Dolgozatom célja, hogy a nem konvencionális antiferromágnesek tanulmányozásával hozzájáruljak ehhez az ismeretanyaghoz, amely új utakat nyithat az alkalmazások előtt.

Disszertációmban három antiferromágneses anyag, a BiFeO_3 , MnSc_2S_4 és LiCoPO_4 kísérleti vizsgálatával foglalkozom. Ezek vagy nem triviális mágneses rendeződésűek, mint a MnSc_2S_4 , vagy magnetoelektromosak, mint a LiCoPO_4 , vagy mindkettő, mint a multiferroikus BiFeO_3 . Ezek anyagok mind olyan jelenségeket rejtnek magukban, amelyek potenciális alkalmazhatóságuk mellett az alapkutatás szempontjából is érdekesek. A BiFeO_3 -ban és a LiCoPO_4 -ban az AFM domének elektromos térrel kapcsolhatók, ami alapvető a spintronikai alkalmazásokhoz.

Az ME kollineáris antiferromágnes LiCoPO_4 esetében megmértem a két AFM domén abszorpciós spektrumát a látható és a közeli infravörös tartományban. Egy domén kiválasztásához az úgynevezett ME poling eljárást használtam. A LiCoPO_4 AFM doménjei között 1597 nm-en $\Delta\alpha/\alpha_0 = 34\%$ -os abszorpciós különbséget találtam, ami még a távközlési 1550 nm-es hullámhosszon is nagy. Ez az abszorpciós kontraszt az irányfüggő dikroizmus (nonreciprocal directional dichroism–NDD) megnyilvánulása, mivel az időtükrözés művelete a két domént egymásba transzformálja. Egy egyszerű, alacsony hőmérsékletű transzmissziós pásztázó mikroszkópiás elrendezést építettem, amellyel az AFM tartományokat abszorpciós kontrasztjuk alapján képeztem le. Multiferroikus BiFeO_3 -ban kisszögű neutronsórással segítségével tanulmányoztam a mágneses rendet és a fázisátmeneteket. THz abszorpciós spektroszkópiával vizsgáltam a BiFeO_3 nemrégiben felfedezett, magas hőmérsékletű, tér indukálta transzverz kúpos mágneses fázisának spin-hullám gerjesztéseit. Megmértem a cikloidális, kúpos és kihajló antiferromágneses fázisokban a módusfrekvenciák mágneses térfüggését, és összehasonlítottam a rezonanciaenergiák mágneses térfüggését az elméleti kollégák (Rózsa L., Udvardi L. és Szunyogh L.) által kidolgozott spindinamikai szimuláció eredményeivel. A transzverz kúpos fázisban lévő módusok esetében megfigyeltem NDD-t is. A MnSc_2S_4 alacsony hőmérsékletű, mágnesesen modulált fázisában vizsgáltam a mágneses rezonanciák térfüggését, ahol korábbi inelasztikus neutronsórással mérések Monte Carlo szimulációkkal kombinálva antiferromágneses skyrmionok kialakulását jelezték mK hőmérsékleten. THz és mikrohullámú spektroszkópia kombinációjával az AFM skyrmionok spin-rezonanciáinak megfigyelését tűztem ki célul. Méréseim egyetlen rezonanciát mutattak ki a rendezett fázisban, amelynek g-faktora közel 2 volt.