

Tisztelt Bíráló!

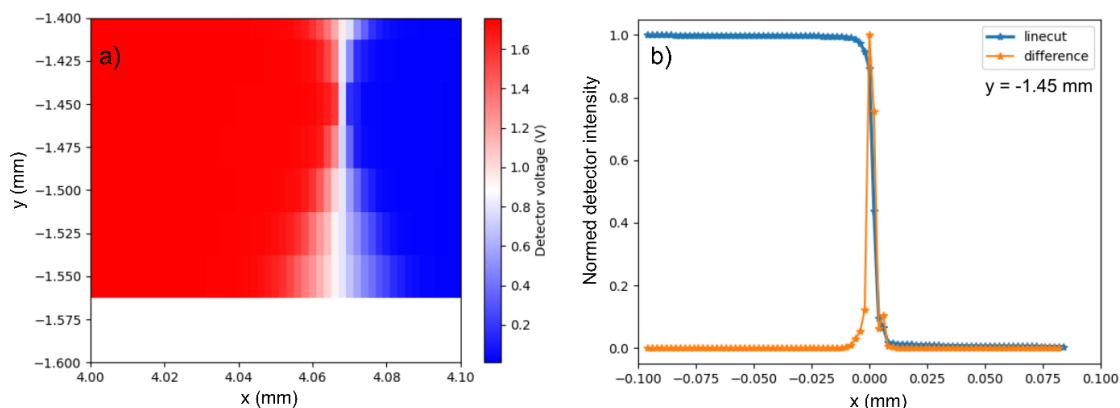
Köszönöm, hogy időt szánt doktori munkám alapos elolvasására és bírálatára. Megjegyzéseit köszönöm, azokat elfogadom. A felvetett kérdésekre válaszaimat pontokba szedve az alábbiakban közlöm:

1. Kérdés:

A 4.4-es ábrához kapcsolódóan kérem Jelöltet mondja el, hogyan győződött meg róla, hogy a minta a fókusz síkban van, továbbá, hogy milyen vastagságú minták vizsgálhatóak az elrendezéssel?

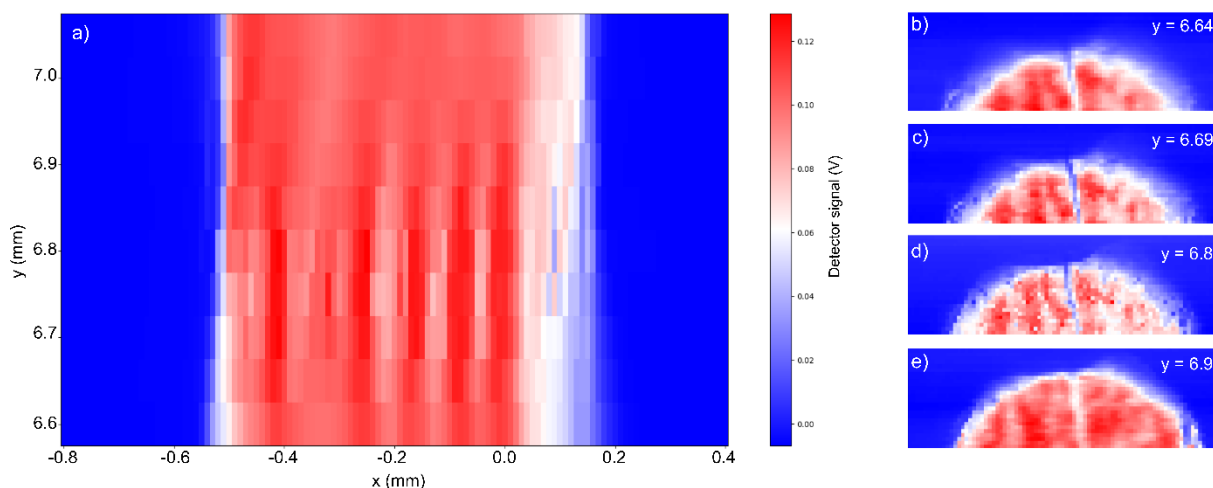
Válasz:

A tesztmérések során, szimplán a fókusz „jóságának” meghatározásához a kés-él (knife-edge) módszert használtam. Az 1.1 Ábra a) panelén a fókuszkeresés folyamata látható: az x irányú pásztázás a pengét a nyalábra merőlegesen mozgatta, hol szabadon hagyva a fényutat (piros régió), hol blokkolva a nyalábot (kék régió), y irányban a nyalábbal párhuzamos irányban mozgult a penge. A fókuszban a legélesebb az átmenet a direkt nyalábból a kitakarásba. Az 1.1 Ábra b) panelen egy ilyen pásztázást ábrázoltam a fókuszban, ebből a fókuszfolt nagysága is meghatározható a szomszédos pontok közötti különbségi görbéből, 4  $\mu\text{m}$ -re.



1.1 Ábra a) Fókuszkeresés késél módszerrel a késél több fókuszhoz képesti helyzetében. b) Detektoron mért intenzitás a késpenge fókuszbeli mozgása esetén (kék görbe), késpenge szomszédos pozíciói között mért intenzitások különbsége (narancs görbe).

A fókuszkeresés a mintával a fényútban több iterációs folyamat volt. A hőmérsékleti elmozdulás miatt a fókuszálást alacsony hőmérsékleten, 6 K-en végeztem, a mintát zérus külső terekben lehűtve (így megengedve az AFM domének létrejöttét). A durva fókuszáláshoz egy kijelölt pozícióban a minta apertúra teljes szélességén pásztáztam (1.2 a) Ábra). A fókusz meghatározása nem egyértelmű, mert az apertúra szélén a késél módszert figyelembe véve a fókusz nem egyezik a legnagyobb doménkontrasztot mutató szelettel. Mivel célom a domének feltérképezése volt, a doménkontrasztot prioritizálva végeztem a minta kis területét lefedő szkenneléseket a fókusz környékén (1.2 b)—e) Ábrák), majd a legnagyobb kontrasztot mutató ábra fókuszbeli helyzetével végeztem további méréseimet.



1.2 Ábra a) Fókuszkeresés a minta apertúra teljes szélességén szkennelve b)–e) Részleges mintatérképek különböző fókuszhoz képesti pozíciókban.

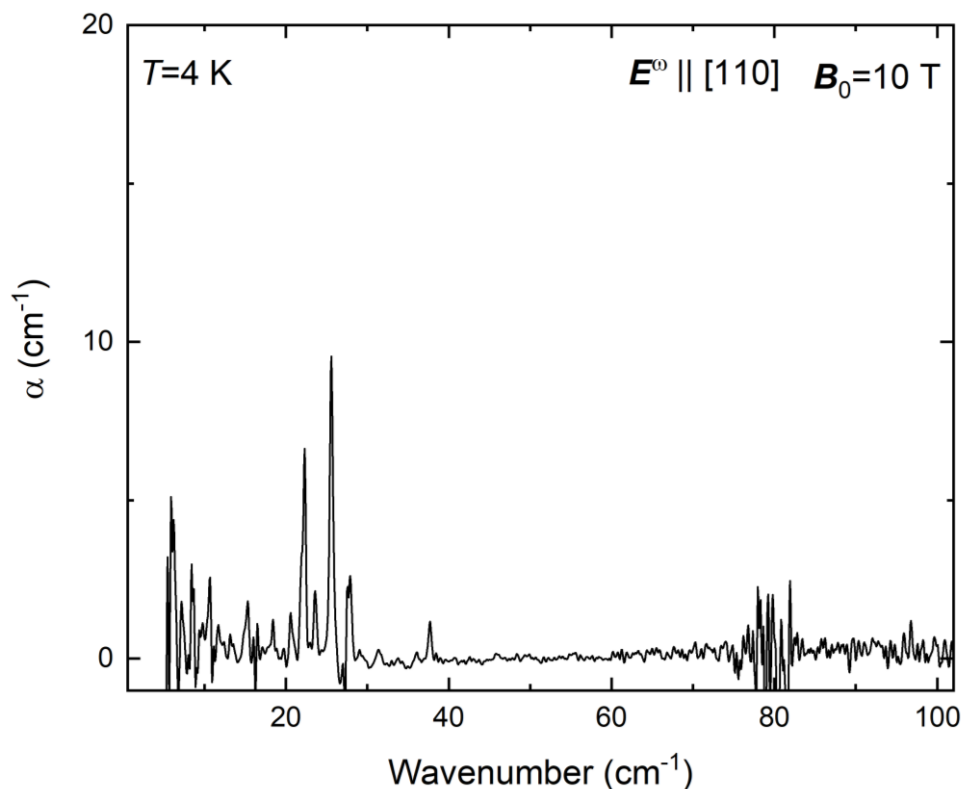
A vizsgálható mintavastagság egyrészt függ a vizsgálni kívánt abszorpció erősségétől és a használt detektor dinamikus tartományától. Mindemellett a vizsgálni kívánt struktúra tulajdonságait is figyelembe kell venni: ha a térbeli struktúra a fény terjedési irányával párhuzamosan is változik a mintában, a kontraszt elveszik a tömbi jelleg miatt.

## 2. Kérdés:

Az 5.3-as fejezetben foglalkozik Jelölt  $\text{BiFeO}_3$  THz-es abszorpciós spektrumával, ugyanazzal a mérőműszerrel, amivel megvizsgálta  $\text{MnSc}_2\text{S}_4$  spektrumát is a 6.2-es fejezetben. Utóbbi helyen leírja, hogy bár 0.1-től 3 THz-ig vették fel a spektrumokat, csak 0.6 THz-ig ábrázolja az eredményeket, mert előlött nincs mágneseztér-függő spin gerjesztés. Bár 5.3-ban Szerző nem adja meg a vizsgált spektrális tartományt, 5.12-ről leolvasható, hogy az 0.1-től 1 THz-ig tartott. Kérdésem,  $\text{BiFeO}_3$  esetén mi volt az oka, hogy a magasabb frekvenciatartományt nem vizsgálták?

## Válasz:

Spin hullám számolásokból magnonok sorozata jelenik meg:  $\Phi_n$ ,  $\Psi_n$  [R. de Sousa and J. E. Moore Phys. Rev. B **77**, 012406 (2008)]. A magasabb indexű módusok intenzitását a ciklois szerkezet anharmonicitása határozza meg. Ezek a módusok csak nagy térben jelennek meg nemnulla intenzitással, frekvenciájuk pedig a térrel csökken. Korábban vizsgálták az anyagbeli fonongerjesztéseket [S. Kamba et al. Phys. Rev. B **75**, 024403 (2007), R. P. S. M. Lobo et al. Phys. Rev. B **76**, 172105 (2007)], melyek közül a legalacsonyabb frekvenciás módus a kerámiás változatban  $71.9 \text{ cm}^{-1}$ -nél ( $\sim 2.1 \text{ THz}$ ), míg az egykristályban  $74 \text{ cm}^{-1}$ -nél ( $\sim 2.2 \text{ THz}$ ), található. A módus kiszélesedése és oszcillátorerőssége nagy, így ezen a tartományon egyéb jelenségek nehezebben különíthetők el. Mindazonáltal kollégáim a  $\text{BiFeO}_3$ -n végzett THz abszorpciós spektroszkópiai vizsgálataik kezdetekor [U. Nagel et al., Phys. Rev. Lett. **110**, 257201 (2013), I. Kézsmárki et al., Phys. Rev. Lett. **115**, 127203 (2015)] feltérképezték a 0.6–3 THz-es tartományt is, ám magnongerjesztéseket nem figyeltek meg, amint azt az alábbi, 2.1-es Ábra szemlélteti.



2.1 Ábra. Köbös  $\text{BiFeO}_3$ -n mért THz abszorpciós spektrum  $5\text{--}100\text{ cm}^{-1}$  ( $0.15\text{--}3\text{ THz}$ ) tartományon.

3. Kérdés:

A 6.2-es fejezetben mérései alapján megállapítja, hogy mágneses szuszceptibilitás értéke,  $\chi_0^m = 2.5 \cdot 10^{-3}$ , ami egy nagyságrenddel eltér a korábban publikált értéktől, amire magyarázatként felveti, hogy további rezonanciák lehetnek 50 és 100 GHz között, a 3.1.2-es fejezetben írja, hogy a THz-es spektroszkóp mérési tartománya 75 GHz-tól indul, miért nem ettől az alsó határtól indították a méréseket?

Válasz:

Ilyen alacsony frekvencián a jel-zaj arány igen alacsony. A különböző frekvenciatartományok mérésére különböző filtereket kell alkalmazni, amik nem teszik lehetővé az alacsony és nagy frekvenciás részek egyidejű mérését. A legalacsonyabb elérhető frekvencia a vizsgált mintától is függ. Egy kis elnyelésű, de az elnyelés megfigyeléséhez megfelelően nagy minta alkalmas lehet. A méréseimhez csak egy több egykristályból álló mozaik minta állt rendelkezésre, azonban ennek mérete is limitált volt. Egy kb. 2 mm átmérőjű kör alakú apertúrát fedett le a minta, amely megnehezíti az alacsony frekvenciás méréseket. 100 GHz-en a hullámhossz 3 mm, így a mintán a jelentős fényelhajlás miatt alacsonyabb frekvenciákon nem tudtunk mérni.

4. Kérdés:

6.2.1-ben leírja Szerző, hogy a spektrum „hullámossága” a mintában történő reflexiókból származik. Hogyan lehetett volna elérni, hogy a reflexiók ne jelenjenek meg a spektrumban, vagy kevésbé zavarják meg a mérést?

Válasz:

Többszörös visszaverődésekből származó jelet a minta enyhén ékesre csiszolásával szoktak elkerülni. A mintabeli reflexiókból származó intenzitás eltéríthető a direkt transzmittált fénytől, így kiküszöbölve az interferenciát. Mivel az általam vizsgált minta egy több darabból összeragasztott mozaik volt, a csiszolást nem kíséreltem meg a szétesés veszélye miatt.

Time-domain spektroszkópiával a mintavastagság felhasználásával a frekvenciafüggő komplex törésmutató meghatározható lenne. A vastagság és a törésmutató segítségével a többszörös visszaverődések is modellezhetőek lennének és az intrinszik abszorpciók együttható spektrumot ki lehetne számolni, eltűnne a hullámosság. Azonban a mozaik minta szabálytalan belső élei miatt elhajlások jelentkeznenek, amik nagyon megnehezítenék a fent leírt modellezést. Továbbá nem ismerek olyan időfelbontott elrendezést, mellyel mK hőmérséklettartományban lehetne méréseket végezni.

Budapest, 2025. 06. 04.

  
Tóth Boglárka