

B3548

PhD ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**FEMTOSZEKUNDUMOS FÉNYIMPULZUSOK TERJEDÉSÉVEL  
KAPCSOLATOS JELENSÉGEK**

**KÜLÖNBSÉGI FREKVENCIA KÉLTÉSE (DFG)  $\text{AgGaS}_2$  ÉS  
 $\text{AgGaSe}_2$  KRISTÁLYBAN**



írta:

**BENKŐ ZSOLT ISTVÁN**

Szeged, 1998

## I. TUDOMÁNYOS ELŐZMÉNYEK, CÉLKITŰZÉSEK

Értekezésem két részre bontható. Az első részben ultrarövid (femtosekundumos) impulzusok terjedésével kapcsolatosan vizsgálom meg néhány jelenséget (A). A második részben egy nemlineáris optikai jelenséget, a különbségi frekvencia keltést (Difference Frequency Generation=DFG) vizsgálom  $\text{AgGaS}_2$  és  $\text{AgGaSe}_2$  kristályokban (B).

(A) A femtosekundumos impulzusok előállítása és felhasználása a jelenkori lézerfizika egyik legfontosabb fejezete. A kísérletileg előállított legrövidebb impulzus ideje 5 fs körül van. Előtérbe került az impulzusok torzulásainak vizsgálata. Megvizsgálták, hogy mi történik egy impulzussal, ha áthalad egy prizmán, egy rácson vagy egy lencsén. A prizma és a rács az impulzusfrontot  $\gamma$  szöggel megdönti a fázisfronthoz képest, ami csak az adott optikai elem szögdiszperziójától függ. A lencsén pedig az impulzusfront ívből meghajolva lemarad a fázisfronttól.

Döntött impulzusfrontú fény optikai elemeken történő áthaladásának leírásához szemléletes képet ad a széli hullám elmélet. Ennek létrehozása Thomas Young nevéhez fűződik (1802), de az elméletet Rubinowicz, majd később Miyamoto és Wolf öntötte analitikus alakba. Az elmélet a fényt két részre osztja: a geometriai tagra, ami a direkt megvilágításból származik; és a diffrakciós tagra, ami az elhajlító tárgy széleiről kiinduló hullámokból ered. A végső képet a geometriai és a diffrakciós tag interferenciája hozza létre.

A Talbot csíkokat 1837-ben fedezte fel H. F. Talbot. A jelenség lényege, hogy fehér fény spektrumában interferencia csíkok láthatók, ha a nyalábnak azt a felét, amelyik a spektrum vörös oldalán van, egy vékony üveglemezen engedjük át. A jelenség nem jön létre, ha az üveglemezt a nyaláb másik felébe helyezzük.

(B) Környezetvédelmi mérések végrehajtásához, illetve szabad gyökök kutatásához felerősödött az igény egy megfelelően nagy teljesítményű, keskeny sávzélességű, lehetőleg széles sávban folyamatosan hangolható, a közép-infravörös spektrális tartományon (2-15  $\mu\text{m}$ ) működő lézerszerű fényforrás iránt. Az ezen a tartományon működő eddigi eszközök vagy csak a tartomány kis részét fedték le, vagy nem voltak széles sávban hangolhatók, vagy nem voltak folyamatosan hangolhatók, ezen felül rendszerint kriogenikus hőmérsékletet igényeltek. A különbségi frekvencia keltés (Difference Frequency Generation=DFG) egy jó alternatíva lehet. Megfelelő nemlineáris kristályokkal és megfelelő látható lézerekkel elérhető a kívánt tulajdonságú infravörös sugárzás. A nemlineáris optikai jelenség létrehozásához szükség van az energia- és impulzummegmaradás kielégítéséhez, azaz teljesülnie kell az ún. fázisillesztési feltételeknek. A legjobban kihasználható, a legkevésbé érzékeny beállítások egyike a kollineáris,  $90^\circ$ -os I típusú fázisillesztés. (A két bemenő és a létrejövő harmadik nyaláb is egy irányban halad, a kristály optikai tengelyére merőlegesen. A legmagasabb frekvenciájú nyaláb extraordinárius, a másik kettő ordinárius.) Tulajdonságaik alapján két kristály lett kiválasztva:  $\text{AgGaS}_2$  és  $\text{AgGaSe}_2$ .

Kutatásaim célja volt, hogy

- kimérjem az impulzusfront dőlését prizmán történő áthaladás után, s pontosítsam az irodalomban lévő előző mérési eredményeket,
- megvizsgáljam egy femtoszekundumos impulzus áthaladását résen, illetve kör alakú nyíláson,
- a Talbot csíkok keletkezésére teljes értékű magyarázatot adjak,
- meghatározom az  $\text{AgGaS}_2$  kristály nemlineáris együtthatóját,
- meghatározom elméletileg és kísérletileg a fázisillesztési karakterisztikáját,

- létrehozok egy DFG-n alapuló infravörös lézerspektrométert,
- megvizsgálom az  $\text{AgGaSe}_2$  kristály alkalmasságát DFG szempontjából.

## II. A VIZSGÁLATOK MÓDSZEREI

Prizma által létrehozott impulzusfront dőlés kiméréséhez egy Michelson interferométert használtam, aminek az egyik karjában mikroctolóra volt szerelve a tükör, s így alkalmassá vált repülési-ido interferometriai mérésekre. Az elrendezést egy  $\text{N}_2$ -lézerrel (6 ns, 337.1 nm) gerjesztett ráccsal hangolható festéklézer (~3 ns) világította ki. Az impulzus koherencia ideje (hullámhossztól függően) 133-200 fs volt. A keletkezett interferencia képet ernyőn figyeltem meg. A mérés pontossága 30 fs körül volt.

Döntött impulzusfrontú fehér fény résen való áthaladásának méréséhez egy goniométert használtam. A goniométer kollimátora szolgáltatja a térben koherens nyalábot, a goniométer asztalán helyezkedett el az impulzusfront döntését végző prizma. A goniométertől független rögzítésű, a prizma után közvetlenül elhelyezett résen történő elhajlást a goniométer távcsövével figyeltem meg.

Talbot csíkok vizsgálatához egy fehér fényforrás fényét egy egyeneslátású prizmán keresztül egy ernyőre vetítettem. Az így nyert spektrumot mikroszkóp fedőlemezzel félig eltakart kördiafragmákon keresztül figyeltem meg.

$\text{AgGaS}_2$  kristály nemlineáris együtthatójának meghatározásához a spontán parametrikus emissziót (Spontaneous Parametric Emission=SPE) használtam fel. A kristály  $4 \times 4 \times 20 \text{ mm}^3$  méretű volt, a bemenetén antireflexiós bevonat volt a 600-900 nm-es tartományra, a kimenetén pedig a  $3.8\text{-}9.1 \mu\text{m}$ -es tartományra. Egy Coherent gyártmányú 20 W-os Ar-ion lézer pumpált két Coherent ringlézert (egy számítógépes kontrollal rendelkező 899-29-et és egy 699-21-et). A lézerek teljesítményét Coherent gyártmányú teljesítménymérővel mértem,

a SPE jelét pedig egy RCA C 31034 A jelű, szárazjég hűtésű, 2 inch-es aktív területű PMT-vel. A 30 Hz-es fényszaggató és a PMT jelét egy lock-in erősítőn keresztül oszcilloszkópra vezettem. A lézerek hullámhosszának mérésére a beépített, 200 MHz abszolút pontosságú wavemeter-t illetve egy monokromátort használtam. Ezeken kívül interferenciás, levágó és szűrkeszűrőket, polarizáció rotátort, polarizációs nyalábosztó kockát, 10 cm fókuszu lencsét tartalmazott az elrendezés.

A DFG kísérletekhez az előző eszközök nagy részét használtam, de a monokromátor helyett egy 500 MHz abszolút pontosságú Michelson wavemeter, a PMT helyett kettő, folyékony  $N_2$  hűtésű HgCdTe infravörös detektor volt. Ezen kívül Ge-szűrő, ZnSe nyalábosztó, egy 25 cm fókuszu üveg- és egy 10 cm fókuszu  $BaF_2$  lencse volt felhasználva.

Az adatfeldolgozást és a modellezéseket, saját írású programokat is felhasználva, számítógépen végeztem.

### III. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Nagy pontossággal kimértem egy rövid impulzus impulzusfrontjának torzulását prizmán történő áthaladás után, egyszerű kísérleti eszközök használatával [T1]. A teljes mérési tartományon (12-13 ps) a mérési hibán (30 fs) belül az impulzusfront torzulása dőlésnek bizonyult, és pontosan megegyezett az elméletileg megjósolttal.

2. Megvizsgáltam egy döntött impulzusfrontú femtoszekundumos impulzus áthaladását résen. A jelenséget a szélihullám-elmélet alapján modelleztem, a Fraunhofer-féle elhajlási elmélet alapján kiszámoltam [T4]. Mindkét elméleti módszer azt jósolta, hogy az interferencia csíkok láthatósági maximuma és az intenzitás maximuma az impulzusfront dőlésének szögével megegyező mértékben szétválék. Az impulzusokat fehér fénnel helyettesítve, a jelenséget kimértem [T4], és az elméletileg megjósolt értékkel megegyezőnek találtam.

3. Megvizsgáltam a szélhullám-elmélet és a Fraunhofer-féle elmélet alapján is egy döntött impulzusfrontú femtoszekundumos impulzus áthaladását kör alakú nyíláson. Megállapítottam, hogy ha döntött impulzusfrontú fénnel végzünk diffrakciós kísérletet, akkor a diffrakciós képen megfigyelhető az impulzusfront dőlésével megegyező szétválás az Airy-féle elhajlási gyűrűk láthatósági maximuma és az intenzitás maximuma között.
4. Kétféleképpen is magyarázatot adtam a Talbot csíkok kialakulására: a döntött impulzusfrontok modelljét, illetve a monokromatikus komponensek összegének modelljét felhasználva. A döntött impulzusfrontok modelljét felhasználó magyarázat saját eredményem, a monokromatikus komponensek összegét felhasználó magyarázat pedig egy továbbfejlesztett változat. Ezen kívül bemutattam egy eddig még nem közölt kísérleti elrendezést.
5. Meghatároztam az ezüst-tiogallát ( $\text{AgGaS}_2$ ) kristály nemlineáris együthathóját ( $d_{36} = 31 \pm 5 \text{ pm/V}$ ) és a frekvenciafüggetlen Miller-féle deltát ( $\delta_{36} = 0.23 \pm 0.04 \text{ pm/V}$ ) [T2].
6. Elméletileg és kísérletileg is megvizsgáltam különbségi frekvencia keltését (DFG)  $\text{AgGaS}_2$  kristályban: kiszámoltam és kimértem a  $90^\circ$ -os I típusú fázisillesztési görbéket több különböző hőmérsékleten és az elmélet és a gyakorlat között viszonylag jó egyezést találtam [T3].
7. Kiszámoltam a DFG infravörös teljesítményét és összevettem a mért értékekkel. Nagyon jónak tekinthető hatásokkal, az elméletileg kiszámolt érték kb. 1/6-át mértem [T3].
8. Összeállítottam egy DFG-n alapuló infravörös lézerspektrométert, amellyel az  $\text{NH}_3$  molekula  $1177 \text{ cm}^{-1}$  körüli  $\nu_2$  sávját pontosan kimértem (a berendezés feloldóképessége sokkal nagyobb volt, mint a vonalszélesség) [T3].
9. Megvizsgáltam egy csak szilárdtest alapú infravörös lézerspektrométer megépítésének lehetőségét ezüst-gallium-szelenid ( $\text{AgGaSe}_2$ ) kristályban történő DFG-vel [T5]. Az elméleti számításaim szerint ez megvalósítható mind kollineáris,  $90^\circ$ -os I típusú, mind pedig kollineáris, kritikus (szög hangolású) fázisillesztéssel.

#### IV. AZ ÉRTEKEZÉS ALAPJÁT KÉPEZŐ KÖZLEMÉNYEK

- T1. Zs. Benkó, Z. Gogolák, Zs. Bor and G. Szabó:  
Pulse Front Distorsion Measurements in Prisms Measured by Time-of-Flight Interferometry  
*Experimentelle Technik der Physik*, Vol. 39 (1991), No. 4/5, pp. 447-449
- T2. P. Canarelli, Z. Benko, R. Curl, F. K. Tittel  
Measurement of Nonlinear Coefficient and Phase Matching Characteristics of AgGaS<sub>2</sub>  
*IEEE J. Quant. Electron.*, Vol. 9 (1992), No. 1, pp. 52-55
- T3. P. Canarelli, Z. Benko, R. Curl, F. K. Tittel  
A Continuous Wave Infrared Laser Spectrometer Based on Difference Frequency Generation in AgGaS<sub>2</sub> for High Resolution Spectroscopy  
*J. Opt. Soc. Am. B*, Vol. 28 (1992), No. 2, pp. 197-202
- T4. Z. L. Horváth, Zs. Benkó, A. P. Kovács, H. A. Hazim, Zs. Bor:  
Propagation of femtosecond pulses through lenses, gratings and slits  
*Optical Engineering*, Vol. 32 (1993), No. 10, pp. 2491-2500
- T5. Ulrich Simon, Zsolt Benko, Markus W. Sigrist, Robert F. Curl, and Frank K. Tittel:  
Design considerations of an infrared spectrometer based on difference-frequency generation in AgGaSe<sub>2</sub>  
*Applied Optics*, Vol. 32 (1993), No. 33, pp. 6650-6655