

PHD ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

*A SZEGEDI FEMTOSZEKUNDUMOS TITÁN-ZAFÍR
LÉZERRENDSZER ÉPÍTÉSE SORÁN ELÉRT
EREDMÉNYEK*

Írta:

KURDI GÁBOR

Témavezető:

Dr. Osvay Károly
egyetemi docens

Szegedi Tudományegyetem
Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék

2003

I. TUDOMÁNYOS ELŐZMÉNYEK, CÉLKITŰZÉSEK

A szegedi Kísérleti Fizikai Intézetben 1966-ban kezdődtek a lézerekkel kapcsolatos kutatások. Azóta számtalan, főleg festék, nitrogén és excimer lézer épült itt. Az elosztott visszacsatolású festéklézerek kutatásának témakörében jelentős eredményeket értek el szegedi kutatók (elsősorban Bor és Rác, valamint Szabó és Szatmári professzorok). Hebling János femtoszekundumos impulzusokat állított elő haladó hullámú módon gerjesztett festékoldatban, majd megépítette az Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék első titán-zafír lézer oszcillátorát. Osvay Károly erre alapozva 1997-ben olyan lézerrendszert tervezett, amely terawattos csúcsteljesítményű impulzusokat ad majd. Tervezése idején paraméterei nemcsak Magyarországon, de talán az egész régióban egyedülállónak számítottak, de még jelenleg is igen jók. Az új lézerrendszer a már meglévő lézerek mellett további lehetőséget biztosít a magyar, és talán a környező országok kutatóinak is, fizikai, biológiai, kémiai vizsgálatok végzésére. Ez a rendszer a TeWaTi nevet kapta (**TeraWattos Titán-zafír Lézer**). Ennek a rendszernek az építésében én is részt vállaltam.

Ebben a dolgozatban a József Attila, majd Szegedi Tudományegyetem Optikai és Kvantumelektronikai Tanszékén közvetlenül és közvetett módon ehhez a témához kapcsolódóan végzett munkámat foglalom össze.

A bevezetés után, a második fejezetben tükrök csoportképletelésének mérésével foglalkozom. Az ultrarövid lézerimpulzusok üvegen (lencsén, nyalábosztón) történő áthaladás során, vagy levegőben való terjedés közben időben kiszélesednek. Ezt a hatást kompresszor alkalmazásával lehet megfordítani. A hagyományos prizmákból, illetve rácsokból felépített kompresszorok mellett az utóbbi évtizedben megjelentek a speciálisan tervezett rétegszerkezetű, ún. fázismodulált dielektrikum tükrök. Általános technológiai probléma a sokrétegű tükrök előállításánál, hogy a párologtatási folyamat csak

korlátozott mértékben ellenőrizhető, ezért az elkészült tükrök tulajdonságai jelentősen eltérhetnek a tervezettől. Szükség volt tehát egy pontos és egyszerű módszerre az elkészült vékonyréteg csoportképleltetésének mérésére.

Lézertükrök csoportképleltetésének mérésére új, az eddigieknél pontosabb eljárást dolgozok ki. Megvizsgálom a módszer alkalmazhatóságát optikailag átlátszó anyag (pl. folyadékok) csoport-törésmutatójának meghatározására.

A harmadik fejezet egy fényforrás fejlesztéséről szól. Amikor spektroszkópiai mérésekhez az izzószálnál nagyobb felületi fényességű szélessávú fényforrásra volt szükség, több évtizeddel ezelőtt még elterjedt megoldás volt óraművezérelt tükrök segítségével napfényt juttatni a laborokba. A Nap fényessége a kék-zöld spektrumtartományban több, mint százszorosa az izzólámpáénak, a vörösben 20-50-szerese. Használata az időjáráshoz és napszakhoz való alkalmazkodásra kényszerítette a tudósokat. A lézerek felfedezése és elterjedése új utakat nyitott ezen a területen is. Nagy teljesítményű impulzusüzemű lézerekkel nemlineáris optikai úton lehetséges ugyan nagy fényességű fehér fényforrást előállítani, de érdemes talán alternatívát keresni olyan laborok számára is, ahol ilyen lézer nincs, vagy nem erre a célra használják. Szerves lézerfestékek szélessávú emissziós tulajdonságát régóta ismerik és használják spektroszkópiai és lézerfizikai alkalmazásokban. Kézenfekvőnek tűnik, hogy ezek összekeverésével szélessávú fényforrást kaphatunk.

Célul tűzöm ki lézerfestékek keverékén alapuló nagy fényességű, szélessávú, folytonos fényforrás kifejlesztését.

A szögdiszperzió fogalmához az irodalomban két különböző jelentés is társult. Az egyik szerint szögdiszperzió alatt a fény *terjedési irányának*, a másik szerint viszont a *fázisfrontok által bezárt szög* hullámhosszfüggését értjük. A

negyedik és ötödik fejezetben új eljárást mutatok be mindkét szögdiszperzió mérésére, majd az egyik segítségével impulzuskompresszorok és nyújtók beállításának optimalizációját tárgyalom.

Célul tűzöm ki FMIE lézerrendszerek nyújtójának és kompresszorának, valamint prizmás kompresszorok beállítását megkönnyítő szögdiszperzió mérő módszer kidolgozását.

Célul tűzöm ki a prizmás és rácsos kompresszorok hibás beállításából származó szögdiszperziót leíró elméletek kísérleti igazolását.

Kidolgozok egy módszert lézernyalábok különböző spektrális komponenseinek fázisfrontjai által bezárt szög hullámhosszfüggésével definiált szögdiszperzió mérésére. Martínez modelljét továbbgondolva kiszámolom, milyen hatást gyakorol egy szögdiszperzív elem egy Gauss nyalábra.

Ultrarövid lézerimpulzusok előállítása és erősítése főleg az 550 nm - 900 nm hullámhossz tartományban történik. Ennél rövidebb hullámhosszak másodharmonikus és/vagy összegfrekvencia keltéssel érhetők el. A felharmonikus keltő kristályok anyagi diszperziója limitálja az adott sáv szélesség (ezáltal impulzusidő) eléréséhez használható maximális kölcsönhatási hosszt, ami behatárolja egyben az elérhető energiát is. Születtek ugyan különleges technikák ezen határok kitolása érdekében, de mindeddig nem terjedtek el széleskörűen. A probléma egy másik lehetséges megoldása az lehet, ha a nagy sáv szélességet megtartva, de a fentiek miatt szükségképpen energiaszegény UV impulzusokat optikai úton megerősítjük.

Az elmúlt fél évtizedben a parametrikus erősítés egyre növekvő szerepet játszik az ultrarövid impulzusok erősítésében. Előnyei közé tartoznak a nagy spektrális sáv szélesség és hangolhatóság, valamint, hogy a zérus ponti fluktuáció kicsiny volta miatt nagy időbeli kontraszt érhető el. Értekezésem hatodik

fejezetében femtoszekundumos UV impulzusok parametrikus erősítéséről számolok be.

Kísérletileg demonstrálok, hogy a kék-ultraibolya spektrumtartományba eső ultrarövid lézertimpulzusok erősíthetők optikai parametrikus úton.

II. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

Dielektrikum tükrök csoportképzésének meghatározásához a belőlük alkotott Fabry-Perot interferométer transzmissziós maximumhelyei hullámhosszának mérésére volt szükség. Az interferométert halogén izzó fényével világítottam meg, a spektrumot DSzF-8 típusú spektrográf segítségével FORTEPAN síkfilmre exponáltam. A kiértékelést egy Zeiss komparátorral végeztem.

Többkomponensű festékkeverék fluoreszcencia spektrumát Jobin-Yvon H20-UV típusú monokromátorral vettem fel, a detektor egy Hamamatsu fotoelektron sokszorozó volt. A fényteljesítményt egy Laser Precision Corp. gyártmányú teljesítménymérővel vizsgáltam.

Szögdiszperzió mérésre egy házi készítésű spektrográfot és egy módosított Mach-Zender interferométert használtam. A spektrográf detektora egy EDC 2000N típusú CCD kamera volt, a képeket helyben fejlesztett LabView, illetve MathCad programokkal értékeltem ki.

Femtoszekundumos UV impulzusok erősítésénél a fázismodulált impulzuserősítés (chirped pulse amplification) technikát alkalmaztam. A 800 és 400 nm-es impulzusok spektrumát ORIEL MS257 típusú spektrográffal, két különböző rács használatával mértem, a 267 nm-es impulzusokat házi készítésű spektrográffal. Az impulzushosszakat többlövéses auto-, illetve keresztkorrelációval mértem. Az impulzusenergiákat Molectron energiamérővel, vagy hitelesített fotodiódával határoztam meg.

III. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Kidolgoztam egy egyszerű, pontos módszert dielektrikum tükrök csoportkésleltetésének nagy pontosságú kísérleti meghatározására [1, 6-7]. A vizsgálandó Ar^+ lézer nyitótükrökből összeállított Fabry-Perot interferométert fehér fényű pontszerű fényforrással világítottam ki. A transzmissziós maximumhelyek hullámhosszainak pontos méréséből a csoportkésleltetést és a csoportkésleltetés-diszperziót közvetlenül számítottam. Az elvégzett mérésnél elért pontosság 0,24 fs volt. Kimutattam, hogy ugyanezen elv alapján folyadékok csoporttörésmutatója is mérhető.

2. Nagy felületi fényességű, folytonos, szélessávú fényforrást fejlesztettem ki [8-9]. Kikísérleteztem egy-egy négy-, illetve háromkomponensű festékkeveréket, amely Ar^+ lézerrel megvilágítva 161 illetve 131 nm széles fluoreszcencia spektrumot ad. A pumpáló lézerfény erős lefókuszálása miatt a széles spektrumú sugárzás nagyon kis térfogatból ered, emiatt a felületi fényesség egy izzószálnál 510-szer illetve 1740-szer nagyobb.

3. Kidolgoztam egy eljárást egy lézerimpulzusnak a terjedési irány hullámhosszfüggésével definiált szögdiszperziójának mérésére [2, 10]. A 0,2 $\mu\text{rad}/\text{nm}$ érzékenységű mérőrendszer segítségével kísérletileg igazoltam egy nem teljesen párhuzamosan elhelyezett rácsokból álló kompresszor szögdiszperzióját leíró egyenletek helyességét. A megépített eszköz alkalmas valós idejű szögdiszperzió mérésre, így jól használható fázismodulált impulzuserősítést használó rendszerek nyújtóinak és kompresszorainak beállításához.

4. Kidolgoztam egy spektrálisan bontott interferometrián alapuló mérési módszert egy lézerimpulzus különböző hullámhosszú komponenseihez tartozó

fázisfrontok egymással bezárt szögével definiált szögdiszperzió meghatározására [3-4, 11-12]. Ez a definíció Gauss nyalábok esetén az előzőtől eltérő eredményt ad, amit kísérletileg is megerősítettem.

5. Tudomásom szerint a világon először demonstráltam femtoszekundumos impulzusok parametrikus erősítését a közeli ultraibolya tartományban [5, 13-15]. A BBO kristályban erősített 400 nm hullámhosszú jel spektrumából 32,4 fs sávszélesség korlátozott impulzushossz számolható. A pumpáló impulzus hullámhossza 267 nm, időbeli félértékszélessége 3,45 ps volt. Az elért legnagyobb erősítés 3550 volt. Ezek a paraméterek nem jelentik a technika korlátait, csak az adott kísérlet eredményei.

IV. AZ ÉRTEKEZÉS ALAPJÁT KÉPEZŐ KÖZLEMÉNYEK

Nemzetközi, referált folyóiratokban megjelent cikkek:

1. K. Osvay, G. Kurdi, J. Hebling, R. Szipőcs, A. P. Kovács, Z. Bor:
Measurement of the group delay of laser mirrors by a Fabry-Perot interferometer
Opt. Lett. **20** 2339 (1995).
2. K. Osvay, A. P. Kovács, Z. Heiner, G. Kurdi, J. Klebniczki, M. Csatári:
Angular dispersion and temporal change of femtosecond pulses from misaligned pulse compressors
IEEE J. Sel. Top. Quant. El. közlésre elfogadva
3. K. Varjú, A. P. Kovács, G. Kurdi, K. Osvay:
High precision measurement of angular dispersion in a CPA laser
Appl. Phys. B. **74** [Suppl.] S259 (2002).
4. K. Varjú, A. P. Kovács, K. Osvay, G. Kurdi:
Angular dispersion of femtosecond pulses in a Gaussian beam
Opt. Lett. **27** 2034 (2002).
5. K. Osvay, G. Kurdi, J. Klebniczki, M. Csatári, I. N. Ross:
Demonstration of high gain amplification of femtosecond ultraviolet

laser pulses
Appl. Phys. Lett. **80** 1704 (2002).

Konferenciakiadványok:

6. A. P. Kovács, G. Kurdi, K. Osvay, R. Szipőcs, J. Hebling, Z. Bor:
New interferometric methods for group-delay measurement using white-light illumination
Ultrafast Processes in Spectroscopy, Plenum Press, New York, 1996, 607. o
7. K. Osvay, G. Kurdi, A. P. Kovács, R. Szipőcs, Z. Bor:
High precision measurement of group delay dispersion on laser mirrors
Conf. on Lasers and Electro-Optics, 1995, Baltimore, USA, paper CFM8.
8. G. Kurdi, K. Osvay, Z. Bor, I. Ketskeméty:
A high brightness white light source
SPIE Vol. 3573, 17 (1998).
9. Kurdi Gábor, Osvay Károly, Bor Zsolt:
Nagy fényességű, szélessávú, folytonos fényforrás
XX. Országos Lumineszcencia-spekroszkópia Konferencia,
Balatonföldvár, 1997.
10. K. Osvay, G. Kurdi, A. P. Kovács, Z. Heiner, M. Csatári, J. Klebniczki, I. E. Ferincz:
Measurement of residual angular dispersion and temporal lengthening of femtosecond pulses due to misalignment of pulse compressors
Ultrafast Optics 2003, Vienna, Austria, poster Mo1.
11. K. Varjú, A. P. Kovács, G. Kurdi, M. Görbe, K. Osvay:
Increased precision angular dispersion measurement for ultrashort laser pulses
Ultrafast Processes in Spectroscopy 2001, Florence, Italy, P34.
12. A. P. Kovács, K. Varjú, G. Kurdi, K. Osvay, Z. Heiner, J. Klebniczki, M. Csatári:
Experimental investigation of angular dispersion in ultrashort pulses having Gaussian spatial profile
Ultrafast Optics 2003, Vienna, Austria, poster Mo10.

13. K. Osvay, G. Kurdi, J. Klebniczki, M. Csatári, I. N. Ross:
High gain amplification of femtosecond UV laser pulses
IEEE LEOS Annual Meeting, Glasgow, Scotland, 2002 (invited), paper MH2
14. K. Osvay, G. Kurdi, J. Klebniczki, M. Csatári, I. N. Ross:
Optical parametric amplification of femtosecond pulses at 400 nm
Ultrafast Processes in Spectroscopy 2001, Florence, Italy, P31
15. K. Osvay, G. Kurdi, J. Klebniczki, M. Csatári, I. N. Ross:
Optical parametric amplification of femtosecond pulses at 400 nm
ESF Summer School 2002, Vilamoura, Portugal, PP16

Az értekezés témájához kapcsolódó további publikációk:

- K. Osvay, G. Kurdi, J. Klebniczki, M. Csatari, I. N. Ross, E. J. Divall, C. J. H. Hooker, A. J. Langley:
Broadband amplification of ultraviolet laser pulses
Appl. Phys. **B 74** [Suppl.] S163 (2002)
- K. Osvay, G. Kurdi, J. Klebniczki, M. Csatari, I. N. Ross, E. J. Divall, C. H. J. Hooker, A. J. Langley:
Femtosecond OPCPA in the UV
Rutherford Appleton Laboratory Riport **RAL-TR-2001-030** 70 (2001)
- K. Varjú, A. P. Kovács, G. Kurdi, K. Osvay
High precision measurement of angular dispersion in a CPA laser
Ultrafast Optics, Montebello, Canada, 2001
- K. Osvay, G. Kurdi, J. Klebniczki, M. Csatari, I. N. Ross, E. J. Divall, C. H. J. Hooker, A. J. Langley
Noncollinear optical parametric amplification of femtosecond UV pulses
CLEO/Europe, EQEC Focus Meeting, 2001, Munich, Germany, paper C-PSL158
- K. Osvay, G. Kurdi, J. Klebniczki, M. Csatári, I. N. Ross:
Optical parametric amplification of femtosecond pulses at 400 nm
FemtoMat'02, Visegrád, Hungary
- K. Osvay, Z. Bor, P. Dombi, I.E. Ferincz, J. Hebling, J. Klebniczki, A.P. Kovács, G. Kurdi, K. Varjú:
TEWATI – a versatile fs laser system with controllable chirp and tuneable UV pulses

1st General Meeting of the ULTRA Programme of European Science Foundation, 2000, Coimbra, Portugal, paper 34

- K. Osvay, Z. Bor, I. E. Ferincz, J. Hebling, J. Klebniczki, A. P. Kovács, G. Kurdi, I. N. Ross, R. Szipőcs, K. Varjú:
A TW laser system with controllable chirp and tuneable UV pulses
Ultrafast Processes in Spectroscopy 2001, Florence, Italy, P30
- K. Osvay, Z. Bor, I. E. Ferincz, J. Hebling, J. Klebniczki, A. P. Kovács, G. Kurdi, I. N. Ross, R. Szipőcs, K. Varjú:
Femtosecond laser system providing tuneable UV and high power NIR pulses
FemtoMat'02, Visegrád, Hungary