

Lézerek az optikában, spektroszkópiában és az anyagtudományokban

Zárójelentés - OTKA TS 049872

A szegedi lézeres tudományos iskola a Budó és Ketskeméthy professzorok vezette spektroszkópiai tudományos iskolák nyomdokain a '80-as évek elején formálódott. A kezdetben festék- és gázlézerek kutatásával- és fejlesztésével foglalkozó kicsiny csoport érdeklődése előbb az ultrarövid festék- és excimer lézerimpulzusok keltése, és nemlineáris optikája felé irányult. Később, az akadémiai kutatócsoportban folyó anyagtudományi kutatások, valamint a szegedi orvosi klinikákkal és az SzBK-val való együttműködés kapcsán – a hagyományosnak mondható spektroszkópiai vonalat soha el nem feledve – az ultrarövid lézerimpulzusok anyagtudományi-, orvosi és biofizikai alkalmazásai is egyre inkább előtérbe kerültek.

Ezen pályázat eredményei, amely közvetlen folytatása volt a 2002-2004 között végrehajtott több mint másfélszáz tudományos közleményt eredményező OTKA Tudományos Iskola TS040759 pályázatnak, az SzTE Fizika Doktori Iskola négy tudományos részterületén dolgozó kollektíva egymással összefüggő, azt kiegészítő tudományos munkája révén jöttek létre. Ezen alap kutatások a femtoszekundumos lézerimpulzusok előállításai és alkalmazásai, a lézerek anyagtudományi alkalmazása, valamint csillagászati- illetve fotoakusztikus spektroszkópiai mérések. Kiemelem, hogy az összességében 101 referált nemzetközi folyóiratcikket (IF: 227,21), 94 nemzetközi- és hazai konferencia prezentációt, 23 TDK dolgozatot, 14 egyetemi szakdolgozatot, 2 PhD értekezést, 1 MTA Doktora értekezést valamint 3 szabadalmat eredményező kutatást fiatal, 40 év átlagéletkorú (egyetemi hallgatók nélkül) kutatói csapat hozta létre.

Az eredményeket a területek szerint csoportosítva az alábbiakban ismertetem.

I. Femtoszekundumos optika

I.1. Femtoszekundumos impulzusok lineáris terjedése

A képalkotási hibák hullámoptikai leírását használva megvizsgáltuk az aberrációk rövid fényimpulzusokra gyakorolt hatását. Az eredményeink azt mutatják, hogy az aberráció mentes esetben megjelenő szélhullám-impulzus kismértékű aberráció jelenlétében is megmutatkozik. Szférikus aberráció esetén a tulajdonságai megegyeznek az aberráció mentes esettel attól eltekintve, hogy a helyzete a tengelyen az aberráció mértékének megfelelően eltolódik. Asztigmatizmus és kóma esetén a szélhullám-impulzus a tér- és időbeli tulajdonságai is megváltoznak az aberráció mentes esethez képest.

A lézer-anyag kölcsönhatási kísérletekben leggyakrabban a szélessávú, térben Gaussi eloszlású lézerimpulzusokat akromatikus módon fókuszálják az adott céltárgyra. A fókuszáló elem kör alakú apertúrájáról diffraktálódó ún. széli hullámok az optikai tengely mentén egy előimpulzust hoznak létre. Modellszámításokkal kimutattuk, a geometriai fókuszpont helyén az intenzitásnak mindig lokális minimuma van. Ezzel szemben az apertúra méretét illetve a céltárgy helyét megfelelően választva elérhető, hogy a céltárgyon az apertúra-mentes esethez képest is jelentősen nagyobb legyen az intenzitás. Ez az effektus a lézeres részecskegyorsításoknál használt igen vékony céltárgyak esetén számottevővé válik.

I.2. Femtoszekundumos impulzusok mérőrendszerekben

Új optikai elrendezést és eljárást adtunk meg a hordozó-burkoló fázis (carrier envelope phase, CEP) csúszásának mérésére: Modellszámításokkal vizsgáltuk egy kétsugaras és egy sokszugaras interferométer kombinációjával felvehető, spektrálisan és térben bontott interferenciakép láthatósága és a CEP csúszás közötti összefüggést. Megállapítottuk, hogy az interferencia csíkok láthatósága egyértelműen és monoton módon függ a CEP csúszás mértékétől. A modell segítségével megvizsgáltuk továbbá a valós kísérleti körülmények várható hatását a láthatóság–fáziscsúszás függvényre, mint például a sokszugaras interferométer jósága, a detektor véges integrációs ideje, a sokszugaras interferométer hossza és (mechanikai) fluktuációjának, és a levegő illetve az optikai elemek diszperziója.

Kísérleti megvalósítás során a modellszámításokkal kiváló egyezésben kimutattuk, hogy a spektrálisan bontott interferenciacsík-rendszer láthatósága egyértelműen függ a CEP csúszástól. Ez az eljárás a világon az első és mostanáig az egyetlen olyan, a CEP-csúszás mérésére szolgáló technika, mely teljes egészében lineáris optikán alapul. Ennek következtében alkalmazhatósága nagymértékben független az impulzusok sávszélességétől és intenzitásától, így akár pikoszekundumos lézerek, vagy a telekommunikációban használatos nagyon kis csúcsteljesítménnyel rendelkező impulzuslézerek jellemzésére is alkalmas.

Új kísérleti elrendezést és eljárást fejlesztettünk ki a hordozó-burkoló fázis (CEP) izokronikus hangolására, mely működése során jó közelítéssel változatlanul hagyja a rajta áthaladó lézerpulzusok csoportkésleltetését és csoportkésleltetés-diszperzióját. Modellszámításokkal megkerestük a kereskedelmileg hozzáférhető optikai anyagok optimális kombinációját és belőlük gyártandó ékek szögeit, melyek N-BK10 (2.12°) és N-PK51 (2.0°). Az eljárást kísérletileg is demonstráltuk. A két különböző üvegből készült ékpáron alapuló eszköz megépítettük és egy eredetileg azonos anyagú ékpárral stabilizált femtoszekundumos oszcillátorba építettük be. A kimeneti sávszélesség és a teljesítmény elhanyagolható változása mellett a gyárilag beépített CEP-hangoló ékekhez viszonyítva közel két nagyságrenddel sikerült csökkentenünk az ismétlési frekvencia, egy nagyságrenddel pedig a diszperzió elhangolódását ugyanazon CEP állítás mellett.

II. Lézer-anyag kölcsönhatások

II.1. Impulzuslézeres leválasztás (PLD)

II.1.1 Fém-nitridek és nanoszerkezetű rétegek előállítás PLD-vel

Fémek (W, Cu, Ti) félvezetők (GaAs és InP) és bór karbid felületén létrehozott plazmából vákuumban, inert vagy reaktív gázban (Ar, N₂) szilícium hordozókra vékonyrétegeket építettünk. Amint azt a mellékelt SEM felvételek dokumentálják, nanoszekundumos impulzusokkal, vákuumban tömör, a nyomás növelésével (1-10 Pa) porózus rétegeket hoztunk létre, amelyek anyagába a reaktív gáz beépült. Az 100-1000 Pa nyomástartományban a lézerplazma és a háttérgáz kölcsönhatása során nanorészecskék alakulnak ki, melyek a nyomás növelésével egyre porózusabb rétegekké állnak össze, majd ~500 Pa fölött laza, hálószerű láncokat formálnak. Vákuumban, femtoszekundumos lézerpulzusok hatására, az ablált anyag jelentős része nanorészecskék formájában érkezik a hordozóra. A folyamatot kettős lézerpulzusok alkalmazásával vizsgálva megállapítottuk, hogy a lézerplazma ionos és atomos összetevői után a nanorészecskék kb. 1 ns-mal később lépnek ki a felületből.

II.1.2 DLC rétegek előállítás PLD-vel

Femtosekundumos Ti:zafír és hibrid KrF excimer-festéklézerrel üvegszerű szén, valamint polimer (PET, PC, PMMA) céltárgyakon keltett plazmából gyémánt-, grafit- és polimerszerű rétegeket építettünk. Meghatároztuk a gyémántszerű tulajdonságok szempontjából optimális lézerintenzitás tartományt. Hidrogén és metán háttérgázt alkalmazva pusztán a nyomás szabályozásával változtattuk a rétegek kötéstípusát és hidrogén tartalmát. Spektroszkópiai ellipszometriával megvizsgáltuk és értelmeztük a PMMA protonnyalábos besugárzásával létrehozott törésmutató változást. A gyémánt- grafit- és polimerszerű szén széleskörű spektroszkópiai ellipszometriai vizsgálata során megalkottuk ennek az anyagcsoportnak az optikai fázisdiagramját, lehetővé téve ezek gyors, érintésmentes besorolását, minősítését.

II.1.3 Inverz-PLD

Megmutattuk, hogy az inverz PLD (IPLD) geometriában épített vékonyrétegek a PLD rétegekkel összehasonlítva szélesebb nyomástartományban építhetők és jobb felületi minőségűek. Az IPLD mechanizmusát tanulmányozva igazoltuk, hogy a folyamat főbb lépései az épített film kémiai összetételétől függetlenül ugyanazok, s értelmezésünk szerint a réteg épülésének gondos nyomkövetése lehetőséget ad a mechanizmus nem reaktív, illetve reaktív voltának indirekt igazolására. Különböző orientációkban épített rétegek vizsgálatával igazoltuk, hogy az IPLD filmek építésében szerepet játszó folyamatokhoz viszonyítva a gravitációs mező hatásai elhanyagolhatóak. Az IPLD geometriában épülő filmek növekedésének olyan jellegzetességeit, mint pl. a laterális vastagságeloszlás, vagy a rétegvastagság eloszlás szimmetria jegyei, pontosan leírják egyszerűsített analitikus, illetve numerikus Monte Carlo szimulációink. Eredményeink rámutattak arra is, hogy az inverz geometria szimpatikusan egyszerű lehetőséget ad a vékonyrétegek vastagságának, illetve összetételének homogenizálására, s ennek révén az elrendezés ipari hasznosításra.

II.1.4 Szén-alapú vékonyrétegek

A polikristályos bór karbid ablációja során egy impulzussal eltávolított anyagmennyiség, és az ablált anyagból épített vékonyrétegek növekedési sebességének összehasonlító vizsgálatával az ultrarövid impulzusú lézeres anyagmegmunkálásra vonatkozó alapvető összefüggéseket sikerült feltárnunk. Rámutattunk arra, hogy az ultrarövid impulzusokkal végzett abláció határfoka – állandó energiasűrűség mellett – jelentősen függ az abláló lézertől méretétől és a megmunkáló impulzusok tisztaságától, az impulzus energia-kontrasztjától. Megadtuk az épített bór karbid rétegek 2D elem- és sűrűségterképét.

II.1.5 Sub-ps (I)PLD

Először sikerült demonstrálnunk azt, hogy a 10^{11} - 10^{13} Wcm⁻² teljesítménysűrűség-ablakba eső szub-pikosekundumos impulzusokkal folyadék targetből közvetlenül lehetséges (szilárd) nanorészecskék előállítása. Meghatároztuk a nanorészecskék kezdeti méreteloszlását, és a belőlük épített nanostrukturált rétegek tulajdonságait. Megmutattuk, hogy az IPLD ultrarövid impulzusokkal történő abláció esetében is működik. Az effektus részletes vizsgálata csak most kezdődik.

II.1.6 Biológiai, biokompatibilis vékonyrétegek impulzulézeres előállítása illetve leválasztása

A lebomló polimer vékonyrétegek lézeres előállítására irányuló kísérletsorozatunkban polihidroxi-butirát (PHB) polimer vékonyrétegeket építettünk ArF excimer lézer ($\lambda=193$ nm, FWHM=30 ns) 0,05-1,5 Jcm⁻² energiasűrűségű impulzusaival. A FTIR spektrumok alapján a 0,12 Jcm⁻² energiasűrűséggel leválasztott réteg bizonyult az eredeti PHB-hoz legjobban hasonlító kémiai szerkezetűnek. A biopolimerek egyik alkalmazási területe lehet az általunk kidolgozott abszorbeáló réteg által elősegített lézeres sejt átmásolási eljárás, melyben

biopolimer film látja el az abszorbeáló, energiaátalakító réteg feladatát. Megvizsgáltuk az eljárás alkalmazhatóságát élő emlős sejtek kontrollált lézeres átvitelére. Az átvitt sejtek néhány nap után is szépen fejlődtek, azaz a lézeres átvitel során életképesek maradtak. Feltételeztük, hogy a PLD hatékonysága növelhető, ha a ns-os impulzusok termális hatását kiküszöbölendő, femtoszekundumos lézereket alkalmazunk. Kísérleteink célja az volt, hogy a klasszikus, ns-os PLD esetén már bevált anyagok fs-os leválasztását is megvalósítsuk. Céltárgyként egyszerű szerkezetű polimer (politetra-fluoroetilén), biopolimer (polihidroxi-butirát, poliglikolsav), enzim (pepszin) és humán minta (fogpor) porokból préselt tablettákat alkalmaztunk. A céltárgyak ablálását egy 450 fs-os KrF excimer lézerrel végeztük. Spektroszkópiai vizsgálataink bebizonyították, hogy a fenti összetett molekulákból is lehet vékonyréteget leválasztani fs-os PLD módszerrel. PLD-vel kapcsolatos kísérleteink során sikeresen választottunk le Teflon vékonyrétegeket olyan szén-nanocső rétegekre, melyek elektromosan szigetelők, de szivacsos szerkezetük következtében lehetővé teszik a gázáramoltatást. Ezek a szendvics-szerű, szén-nanocső /Teflon rétegszerkezetek többféle típusú gáz kimutatására alkalmas szenzorok prototípusaként szolgálnak.

II.1.7 Biológiai vékonyrétegek építése MAPLE technológiával

Megépítettünk egy mátrix anyaggal elősegített lézeres párologtató (MAPLE) berendezést, melynek segítségével sikerült olyan, bomlékony biológiai anyagból való vékonyréteget készíteniük, mint pl. az ureáz. Lézeres eljárásokkal olyan felületeket alakítottunk ki, amelyeken irányított sejt-megtapadást, növekedést valósítottunk meg. Eredményeink az élő sejt-alapú bioszenzor technikában nyitnak meg új alkalmazási lehetőségeket.

II.1.8 Átlátszó anyagok hátoldali lézeres maratása

A betervezett feladatok teljesítésén túl jelentős nemzetközi érdeklődést kiváltó eredményeket értünk el az átlátszó anyagok lézer indukált hátsóoldali maratása területén. Kimutattuk, hogy az eljárás alkalmas szubmikrométeres struktúrák kialakítására átlátszó mintán. KrF excimer lézerrel 104 nm periódusú rácsot maradtunk kvarcba. Ez az érték ebben a pillanatban világcsúcsnak számít. A LIBWE módszer analógiájára kifejlesztettük a lézeres hátsóoldali száraz maratás technikáját, melyről bebizonyítottuk, hogy szintén alkalmas átlátszó anyagok finom megmunkálására.

II.2 A lézerkezelt felületek vizsgálata

II.2.1 AFM fejlesztés

Olyan új algoritmust dolgoztunk ki, amely egyetlen rezgésből is képes az amplitúdó és a fázis meghatározására. Ezt virtuális műszerben tesztelve megállapítottuk, hogy válaszideje 70-szer kisebb mint a hagyományos módon működő. Kísérletileg vizsgálva és numerikusan szimulálva az AFM amplitúdó modulált üzemmódjának sáv szélességét megállapítottuk, hogy a gerjesztő és a beállított amplitúdó erősen befolyásolja az elérhető sáv szélességet. Nanorészecskék méretének amplitúdó modulált üzemmódú meghatározásakor fellépő hibákat vizsgálva megállapítottuk, hogy a részecskék megfigyelt mérete a műszer beállításától is függ. A „műhiba” nagyságát és az optimális mérési tartományt numerikus szimulációk segítségével becsültük meg. Megépítettük és sikeresen teszteltük a pulzáló erő üzemmódú külső eszközt. Elkészítettük a lokális mechanikai spektroszkópia üzemmódot megvalósító külső elektronikai egységet. Bebizonyítottuk, hogy ez jelentősen felgyorsítja és megkönnyíti a méréseket. Az amplitúdó modulált módban használatos nyitott folyadék cellák rezonancia tulajdonságait megvizsgálva kimutattuk, hogy a rugólemezt vibrációjában megfigyelt rezonancia csúcsok a folyadék mozgásában és a száraz (folyadékkal fel nem

töltött) cellában is megfigyelhetők. A kísérleti tények alapján megállapítottuk, hogy az irodalomban „forest of peaks” néven ismert jelenség oka a gerjesztést végző piezo eszköz rezonanciája.

II.2.2 Konfokális mikroszkóp fejlesztés

A mikroszkóp objektív és a minta közé helyezett kettősen törő lemez a beeső fényt, annak polarizációjától függően, ordinárius és extraordinárius sugarakra bontja. Abban az esetben, ha a kristály optikai tengelye párhuzamos az optikai rendszer tengelyével, az ordinárius és extraordinárius sugarak azimutálisan illetve radiálisan polarizált nyaláboknak felelnek meg. Megmutattuk, hogy a kettősen törő lemez segítségével a radiális és azimutális nyalábok szétválaszthatóak, így az polarizátorként alkalmazható. A radiálisan polarizált nyaláb lefókuszálásával a fókuszolt mérete csökkenthető, ezáltal a térbeli feloldóképesség javítható. Az optikai elrendezést fázislemezzel kiegészítve 1-es topológiai töltésű, radiálisan polarizált nyalábot hoztunk létre. Ha a kristály optikai tengelye merőleges a rendszer optikai tengelyére – a numerikus apertúrától függően – két vagy három fókusz generálódik. Kisebb numerikus apertúrák esetén ezen fókuszok lineárisan polarizált nyalábokkal generálhatók. A két fókusszal pásztázva a mintát jelentős különbséget nem figyeltünk meg, a leképezés modulációs transzfer függvények közel azonosnak adódtak. Növelve a numerikus apertúrát az asztigmia szerepe jelentősé válik, és az extraordinárius fókusz kettéválik.

II.2.3 AFM-, SPR- és SAW (bio)szenzorizáció

Plazmonikus struktúrákat hoztunk létre különböző, UV lézeres két-nyaláb interferencián alapuló módszerekkel: polimer-fém multirétegeken mester-rács megvilágításával generáltunk periodikus sávokból és cseppekből felépülő rácsokat. Különböző összetételű fémrétegek direkt strukturálását valósítottuk meg tükrök alkalmazásával. Nagy modulációs mélységű fémrácsokat készítettünk kvarc felületén UV lézeres hátsó oldali nedves maratással létrehozott struktúrák utó-párologtatásával. Szub-mikrométeres lyukakból felépülő fémrácsokat generáltunk az interferencia és kolloid litográfiák kombinálásával. Pulzáló-erő mérő AFM vizsgálataink bizonyították, hogy a fotodegradáció eredményeként a topográfiai effektusnál nagyobb periodikus adhézió-moduláció is megjelenik a rácsokon.

Felületi plazmon spektroszkópiai kutatásaink eredménye szerint a fém-dielektrikum határfelületi rácsokon létrejövő plazmon-csatolás eredményeként másodlagos minimum jelenik meg a szögfüggő rezonancia görbéken, elegendően nagy periódus és modulációs mélység, valamint a karcolatok megfelelő azimutális orientációja esetében. Igazoltuk, hogy ezen minimumok szélessége megfelelő multi-réteg összetétel, rács-generálási paraméterek és struktúra-szimmetria választásával minimalizálható.

A kémiai heterogenitásra érzékeny kopogtató-üzemmódú AFM vizsgálataink bizonyították, hogy az adhézió-mintázat elősegíti bio-molekulák periodikus megkötését a lézerral generált rácsokon. Kimutattuk, hogy az albumin, streptavidin, és amyloid- β fehérjék a nagy adhéziójú völgyekben halmozódnak fel.

Igazoltuk, hogy a másodlagos rezonancia-minimumok szögeltolódása érzékenyen függ a megkötött bio-molekula koncentrációtól, így monitorozása bio-detektálásra alkalmazható. A csatolt minimumok eltolódásának vizsgálatával bizonyítottuk, hogy az Alzheimer-kórban felszaporodó amyloid- β aggregációja gátolható a „pentosan polysulfate sodium” terápiás molekulával. A lézerral generált bimetal rácsokon a csatolt minimumok nagy érzékenysége lehetővé tette a kis koncentrációjú oldatokból kikötődő bio-molekulák detektálását.

A ráccsal modulált fém-dielektrikum határfelületet tartalmazó multi-rétegeken, mint szenzor-elemeken, valamint a forgatott rács-csatolással eredményezett minimumhely

monitorozásán, mint mérési elven alapuló új plazmon spektroszkópai bio-szenzorizációs eljárásról szabadalmat nyújtottunk be. Az eljárással elérhető nagy koncentráció-érzékenység a periodikus adhézió- és plazmon-mező növekedés szinkronizációjának eredménye.

III. Spektroszkópai vizsgálatok

III.1. Fotoakusztikus spektroszkópia

III.1.1 CARIBIC projekt

Elkészült a kétcsatornás fotoakusztikus vízgőzmérő-rendszer (WaSul-Hygro) második változata, amely a CARIBIC projekt keretében várhatóan 2008 őszén kerül telepítésre, egy utasszállító repülőgépen. A rendszer a korábbiaknál lényegesen kevésbé érzékeny a hőmérsékletváltozásra, illetve nagyon rugalmas módon programozható. Módszert dolgoztunk ki, amellyel a lézer modulációs paraméterei nagy pontossággal az optimális értéken tarthatók működés közben. Módszerünk a derivatív spektrum gyors felvételén és kiértékelésén alapul. A rendszer kalibrációját kiterjesztettük, mind a koncentráció- mind a nyomástartományban. A korábbi repülések alapján kijelenthető, hogy a rendszerünk érzékelné képes a vízgőz nagyarányú szuperszaturációját a légkörben, amely akár a klímamodellek újragondolását is szükségessé teheti.

III.1.2 Szabadtéri fotoakusztikus mérések

Kétféle szabadtér fotoakusztikus rendszert fejlesztettünk ki. Az első egy mindkét végén nyitott henger, amelynek a második azimutális és második longitudinális kevert rezonanciáját gerjesztjük kb. 10 kHz frekvencián. A másik rendszer tulajdonképpen két mikrofon a szabad térben, melyek differenciális üzemmódban működnek. Mindkét rendszer alkalmasnak látszik gyors (legalább 10 Hz frekvenciájú) mérésekre a célul kitűzött legalább 1% pontossággal. Az első rendszer pontossága nagyobb, ugyanakkor feltételezhető, hogy a kamratest megzavarja a gázáramlási teret. A rendszerek további fejlesztése és tesztelése látszik szükségesnek.

III.1.3 Fotoakusztika nagyenergiájú lézerimpulzusokkal

Méréseink során megállapítottuk, hogy a fotoakusztikus aeroszol mérésekhez a legoptimálisabb a ns. impulzushosszúságú, 1-2 W átlagteljesítményű és néhány kHz ismétlődési frekvenciájú lézerek alkalmazása, mivel a nagyenergiájú és alacsony ismétlődési frekvenciájú lézerek optikai abszorpció telítődést okoznak. Q-kapcsolt Nd:YAG lézeren alapuló több hullámhosszon működő rendszerünk terepi körülmények között is alkalmasnak bizonyult aeroszol mérésekre. Ezeket a méréseket többek között az EU JRC kutatóközpontjában (Ispra, Olaszország) végeztük el.

III.1.4 Multikomponens analízis

Ismereteink szerint fotoakusztikus méréseket korábban jószerivel csak állandó összetételű gázmintákon végeztek. Ezzel szemben az általunk kifejlesztett multi-komponens eljárások segítségével olyan bonyolult és időben változó összetételű minták mérése is lehetségessé vált, mint pl. földgáz, vagy az olajok termikus bontása során keletkező gőzök. Bizonyos esetekben (pl. földgázban kénhidrogén mérés) null-gáz előállítás is szükségesnek bizonyult. Továbbá a gázösszetétel-változás miatt fellépő kamrarezonancia-változás gyors követésére alkalmas eljárás kidolgozására is szükség volt. Több ilyen módszert kidolgoztunk és sikeresen teszteltünk.

III.2. Csillagászati spektroszkópia

A Spitzer űrtávcsővel készült infravörös felvételeken üstökösszerű struktúrákat fedeztünk fel az NGC2244, NGC2264 és IC1396 nyílthalmazokban. Kimutattuk, hogy ezek olyan fiatal objektumok, melyek protoplanetáris korongját egy közeli forró O-csillag csillagszele elfújja (fotoevaporáció). Megmutattuk, hogy a struktúrák szinte teljesen csak porból állnak. Ezzel bizonyítottuk azt az elméleti feltételezést, hogy a fotoevaporáció során a csillagkörüli anyagkorong külső részében ($r > 10$ AU) lévő gáz viszonylag gyorsan eltűnik. A η és χ Persei nyílthalmazok széleskörű spektrofotometriai méréseiből kimutattuk, hogy a csillagkörüli anyagkorongok gyakorisága fordítottan arányos a csillagok tömegével. Azt találtuk, hogy a törmelékkorongok gyakorisága 5 és 10 millió év között nő, 10-15 millió év között tetőzik, majd folyamatosan csökken. Az AA Tau T Tauri-csillagon térbeli kapcsolatot sikerült kimutatnunk az akkréciós korong belső szélé, a mágneses erővonalak mentén a csillagra omló anyag és a csillag felületén keletkezett akkréciós lökéshullám között. 13 db. két módusban pulzáló cefeida nagyfelbontású spektrumaiból meghatároztuk ezen csillagokban a vas és a hidrogén gyakoriságának arányát. Összefüggést találtunk a vastartalom illetve az első felhang és az alaplómódus periódusának aránya között. Klasszikus- és II-típusú cefeidák légkörének kinematikai elemzéséből megállapítottuk, hogy 1.3 nap pulzációs periódus alatt a II-típusú cefeidák sokkal hevesebb pulzációs mozgást mutatnak, hosszabb periódusoknál azonban ez a különbség eltűnik. Spektrofotometriai méréseink elemzéséből meghatároztuk 5 szoros kettőscsillag fizikai állapotjelzőit (tömeg, hőmérséklet, luminozitás), 3 rendszer esetében elsőként. A QY Hya rendszerben felfedeztünk egy harmadik kísérő csillagot. Kimutattuk, hogy a V870 Ara tömegaránya igen közeli az elméleti alsó határhoz, ami egy fontos laboratóriumot biztosíthat a csillagok összeolvadási folyamatának megfigyeléséhez. Kb. 300 vörös óriáscsillagról vettünk fel nagyfelbontású echelle spektrumokat az M15, M13 és M92 gömbthalmazokban, anyagkiáramlásra utaló jelek után kutatva. Azt találtuk, hogy a csillagszél csak egy bizonyos kritikus luminozitás fölött indul be, és a luminozitással együtt nő. A csillagszél erőssége kb. 1 éves időtartamon is változásokat mutat. Nem találtunk összefüggést a halmazok fémtartalma és a csillagszél megjelenése között, de a fémszegény halmazokban kissé nagyobb kiáramlási sebességeket mértünk. Az AU Pegasi kettős cefeida csillagban sikerült detektálnunk az alaplómódus mellett az első felharmonikus gerjesztettségét is.

A fentebbi, szakmai részeken túl KÜLÖN nyilatkozatok a következőkről:

Kutatásban résztvevők azonosak-e a szerződésben szereplő kutatókkal?

Ha eltért, kérjük rövid indoklását és az eltérő kutatók felsorolását!

A szerződésben megjelöltekből Kresz Norbert 2007. októberétől a Paksi Atomerőmű Zrt.-hez távozott, helyére Kecskeméti Gabriella került, aki pillanatnyilag még PhD. hallgató. Szörényi Tamás munkaviszonya 2007. júliusában megszűnt. A kutatáshoz időközben csatlakozott Filep Ágnes PhD hallgatóként illetve tud. főmunkatársként a külföldről hazatért Dr. Heszler Péter.

Az elvégzett munka megfelel-e a munkatervben tervezettnek?

Ha eltért, kérjük rövid indoklását!

A vállalt feladatokat maradéktalanul végrehajtottuk. Ezek mellett pluszként szerepel az átlátszó anyagok lézer indukált hátsóoldali maratása, amely egy nagyon aktuális, jelentős tudományos érdeklődésre számotartó téma.

Eredményeit alkalmasnak tartja-e arra, hogy azok a kutatás és fejlesztés folyamatában gazdasági haszonra vezessenek?

Ha igen, ismertesse röviden!

Az ultrarövid lézerimpulzusok hordozó-burkoló fázisának új, izokronikus változtatása a szakterületen jelentős előrelépés. Alkalmazása áttörést jelenthet nem csak a kutatási célú, de a frekvenciametrológiai illetve a szélessávú telekommunikációs lézerek területén is.

Mind az átlátszó anyagok mikromegmunkálását lehetővé tevő LIBDE technika, mind az új plazmon spektroszkópiái bio-szenzorizációs eljárás közvetlen gazdasági hasznot hozó technológiák alapjául szolgálhat.

A fotoakusztikus témájú kutatás véleményünk szerint leginkább hasznosítható része a CARIBIC projekt számára kifejlesztett, repülőgépre telepíthető vízgőzmérő. Ez a rendszer a jelenleg használt rendszereknél megbízhatóbb, pontosabb, gyorsabb válaszidejű.

A kutatás hasznosítására történt-e lépés?

Ha a válasz pozitív, kérjük írja le a kutatás eredményeinek hasznosítását - adatokkal!

A kutatás eredményeinek esetleges hasznosításáról készített leírás magyarul (150-800 karakter, kizárólag szöveges információ)

Benyújtott szabadalmi leírások:

Izokronikus CEP hangolás: *Optical assembly for tuning the carrier-envelope phase of laser pulses*, European Patent Application, 01145EP-1998E, 16.10.2008

LIBDE technika: PCT/HU2007/000048 sz. nemzetközi szabadalmi bejelentés.

IPLD technika: *Method and target-substrate arrangement for building a homogeneous coating of uniform thickness on the substrate from a plasma produced by a pulsed laser*", PCT/HU2006/000085, 05.04.2007, nemzetközi szabadalmi bejelentés.

A kutatás eredményeinek esetleges hasznosításáról készített leírás angolul (150-800 karakter, kizárólag szöveges információ)

Submitted patent applications:

Isochronic tuning of CEP: *Optical assembly for tuning the carrier-envelope phase of laser pulses*, European Patent Application, 01145EP-1998E, 16.10.2008

LIBDE procedure: PCT/HU2007/000048, international (PCT) patent application.

IPLD procedure: *Method and target-substrate arrangement for building a homogeneous coating of uniform thickness on the substrate from a plasma produced by a pulsed laser*", PCT/HU2006/000085, 05.04.2007, international (PCT) patent application.