FIA TAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2002. március 22-23.

IMPULZUS-ÜZEMŰ SZILÁRDTEST LÉZEREK

Kóházi-Kis Ambrus

Solid-state lasers working in pulsed regime have widespread applications in measurement technics and material processing. In this work the pulsed lasers' basic working principles are described. The free running, Q-switched and mode-locked working regimes are concerned. The main features of Kerr-lens mode-locked lasers are outlined.

Bevezetés

A tudomány és a technika számos területén alkalmaznak rövid fényimpulzusokat szolgáltató lézereket [1]. A fényimpulzusok legkívánatosabb jellemzőjük rövid voltuk mellett a velük elérhető igen nagy fényintenzitás. A fémek és egyéb anyagok elektronkibocsátó képességétől a biológiai mintákban megjelenő elemi folyamatokig a legtöbb összetett jelenség megértéséhez fontos adalékot szolgáltat az ultrarövid időintervallumokon lezajló események ismerete. Az elemi folyamatok vizsgálatához ezek karakterisztikus idejénél rövidebb tesztelő impulzusokra van szükség. A lézertechnika napjainkban néhány femtoszekundumos (10^{-15} s) fényimpulzusok előállítására képes. Ez a látható fény esetében csupán néhány elektromágneses rezgési ciklusnak megfelelő impulzushossz lehetővé teszi például fémfelületeken bekövetkező olyan folyamatok vizsgálatát is, amelyek a fémek elektronjai között idővel kialakuló hőmérsékleti egyensúly beállása előtt zajlanak le. A fényjelek rövidsége anyagok és nagyon nagy fényintenzitások kölcsönhatásának vizsgálatát teszi lehetővé. Rövid fényimpulzusokkal végzett anyagmegmunkálás során a mintadarab különösen kis hőterhelése mellett végezhetünk átalakításokat. Elérhető például, hogy a vágáshoz szükséges felhevítés csak a fókuszolt kis környezetében valósul meg, mert az impulzus energiája szétterjedve a nagyobb mennyiségű anyagot már nem képes jelentősen felmelegíteni.

A következőkben az optikailag pumpált impulzus-üzemű szilárdtest lézerek működésének alapelveit ismertetem. Kiemelt hangsúlyt kapnak a leírásban a femtoszekundumos, Kerr-lencsés móduscsatolással működő lézerek jellemzői.

Szabad generációs üzemmód

Ez a szilárdtest lézerek legegyszerűbben megvalósítható impulzusokat adó üzemmódja. A rezonátor lényegében csak a lézertükrökből és az optikailag gerjesztett lézerkristályból áll. Az optikai pumpálás hatására a lézeraktív anyag atomjai közül egyre több gerjesztett állapotba jut. Kialakul a populáció-inverzió (a természetes eloszlás inverze), ha gerjesztett állapotban több atom van, mint az alacsonyabb energiájú állapotban. Nagyobb populáció-inverzió nagyobb fényerősítést eredményez. Amikor az optikai pumpálással átléptük a lézerműködés beindulásához szükséges küszöb-gerjesztést, akkor a lézerben megindul lézerműködés. A fényintenzitás jelentősen növekszik a spontán emissziós értékről. Az erős fényintenzitás viszont gyorsan lecsökkenti a lézerátmenet populáció-inverzióját, ez pedig a fényvesztésekkel együtt megszünteti a lézerműködést. Az optikai pumpálást tovább folytatva ismét elérhetjük a lézerműködési küszöböt, ekkor újabb impulzus alakul ki az előbb felvázolt módon. Így sok impulzusból álló impulzusvonulatot is előállíthatunk.

Például rubin, vagy Nd:YAG lézerek közel ezredmásodperc hosszúságú villanólámpás optikai pumpálása eredményeképpen néhány μs -os időtartamú csúcsokból álló lézerimpulzus vonulat jön létre. Ilyen működtetés esetén az aktív anyagban a populációinverzió a lézerműködéshez szükséges küszöb körül ingadozik, azt lényegesen nem haladja meg. Ezen üzemmód esetén kapható lézerteljesítmény csúcserőértéke 10 kW nagyságrendű, egy-egy impulzus energiája csupán néhány mJ.

Q-kapcsolt üzemmód

Az optikai pumpálás során a lézerműködést késleltetjük egy a rezonátoron belül elhelyezett optikai zár segítségével, ezzel jelentősen megnöveljük a lézer aktív anyagában a populáció-inverziót. A rezonátor jósági tényezőjét (Q) hirtelen megnövelve, azaz a fényvesztéseket lecsökkentve a lézerműködés feltétele hirtelen teljesül: a nagy populáció-inverzió miatt a rezonátorbeli intenzitás gyorsan növekedni kezd. A kialakuló lézerműködés a - küszöbértéket esetenként jóval meghaladó - populáció-inverziót rövid időn belül megszünteti. A felhalmozott energia rövid időn belül távozik a rendszerből. Az így kapható lézerimpulzusok hossza 10-50 ns, csúcsteljesítménye néhányszor 100 MW-ot is elérhet. A szabad generációs üzemmód mellett kialakuló impulzusok teljesítményértékekhez képest nagy fény-teljesítmény miatt szokták a Q-kapcsolt üzemmódot óriás-impulzusú üzemmódnak is nevezni.

Az optikai zár megvalósítási módja szerint beszélhetünk aktívan és passzívan Q-kapcsolt lézerműködésről. Aktívan forgó tükrrel, elektrooptikai modulátorral, vagy akusztóoptikai kapcsolóval működtethetjük a lézert. Passzívan - külső beavatkozás nélkül - telítődő abszorbens segítségével készíthetünk optikai zárat. Ehhez olyan anyagot kell tenni az optikai rezonátorba, amelyik a lézerátmenetnek a fényét részben elnyeli, de nem túlságosan nagy intenzitások mellett az elnyelés telítődik: az abszorbens átlátszóvá válik. Így a fény önmagának kapcsolja ki-be az optikai zárat.

Módus-csatolt üzemmód

A lézerben kialakuló fény körülfutási idejének megfelelő frekvenciaközű lézermódusok (1.a ábra) azonos fázisú összeadásával rövid impulzusok sorozatát kaphatjuk a lézer kimenetén. Az impulzusok időtartama a lézer fényspektrumának szélességével, míg az impulzusok egymást követési ideje a fény rezonátoron belüli körülfutási idejével kapcsolatos (1.b ábra).

1. Ábra: A móduscsatolt lézerfényintenzitás spektrumában (a), és a kialakuló rövid fényimpulzusok vonulata (b).

Az összelebegtetést aktívan és passzívan is megvalósíthatjuk attól függően, hogy kell-e (a körülfutási idő adta periódusú jellel) vezérelnünk a modulációt, vagy a rezonátorba helyezett passzív elemek önmaguktól modulálják a lézerfényt. A fény fázisát és amplitúdóját is modulálhatjuk.

Amplitúdó módus-csatolás esetén a lézer rezonátorába helyezett optikai elem a rezonátoron belüli fény vesztségét modulálja. A modulátor körülfutási időnként kedvezőbb körülményeket teremt a körbeszaladó fényimpulzusnak, egyre rövidebbre igyekszik faragni őket (2. ábra).

2. Ábra: A moduláló jel hatása.

3. Ábra: Prizmás impulzus-kompresszor.

A rezonátorban lévő anyagok (lézerkristály, üvegek, levegő) diszperziója körülfutó fényimpulzusokat szélesíti. Ennek a hatásnak az ellensúlyozására szoktak prizmás, vagy rácsos impulzus-kompresszort (3. ábra), és csörpölt tükröket alkalmazni. Az előbbiek egy rácspáron, vagy prizmapáron áthaladó különböző hullámhosszúságú fényösszetevőknek a diszperzió miatt eltérő fénypályáiból adódó hullámhossz-függő késleltetését használják ki. A csörpölt dielektrikum tükröknek pedig a hullámhosszfüggő behatolási mélység határozza meg a diszperziós tulajdonságát [2].

A fényimpulzusok hatékony rövidítéséhez és röviden tartásához gyors moduláló jelre is szükség van (2. ábra). Igazán gyors modulációt Kerr-lencsés módus-szinkronizációval (KLM) lehet előállítani.

Az erős fény az optikai Kerr-hatásnak megfelelően az anyagok törésmutatóját megváltoztatja a fénynyaláb tengelyétől mért távolsággal változó mértékben. A törésmutató radiális változása lencseszerű fókuszáló hatást fejt ki magára az erős fénysugárra is.

4. Ábra: Kerr-hatás önfókuszáló hatása.

5. Ábra. A nagy intenzitású nyaláb kisebb veszteséget szenved.

A lézer-rezonátorban körbefutó fényre ható önfókuszáló hatás intenzitásfüggő. A lézerben a fénynyaláb intenzitása is függvénye lesz a pillanatnyi fényintenzitásnak. A rezonátorban található olyan pozíciók, ahol a nyalábméret csökken a lézersugár intenzitásának növekedésével. Oda egy megfelelő méretű rest helyezve a nagy intenzitású (impulzusos) működésre kisebb veszteséget keltünk, mint a kis intenzitású (folytonos) üzemmódra (5. ábra). Femtoszekundumos lézer-rezonátorok tervezése ezen Kerr-lencse hatás optimalizálását és a kicsatolt lézerfény intenzitását jelenti [3].

Hivatkozások:

1. Walter Koechner: "Solid-State Laser Engineering", Springer-Verlag Berlin, (1999)
2. Szipőcs Róbert, Kőházi-Kis Ambrus, „Design of dielectric high reflectors for dispersion control in femtosecond lasers", *Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng.*, **2253**, 140 (1994)
3. A. Kőházi-Kis, P. Apai, S. Lakó, R. Szipőcs, „Modeling the saturated gain in Kerr-lens mode-locked Ti:sapphire lasers", *„Ultrafast Optics 1999-Ascona, Switzerland"*, P10 (1999)

7Kőházi-Kis Ambrus főiskolai adjunktus, okleveles fizikus
Kecskeméti Főiskola Műszaki Főiskolai Kar, Matematika és Fizika Tanszék
6000, Kecskemét, Izsáki út 10.

Tel: 36-53-353-863 , 06-20-4640787 E-mail: kohazi-kis.ambrus@kefo.hu