

## FEMTOSZEKUNDUMOS RONCSOLÁSI KÜSZÖB MÉRÉSE KHZ ÉS MHz ISMÉTLÉSI FREKVENCIÁN

Nagy Benedek J.<sup>1,2\*</sup>, Vámos Lénárd<sup>3</sup>, Oszetzky Dániel<sup>3</sup>, Rácz Péter<sup>1</sup>, Dombi Péter<sup>1</sup>

<sup>1</sup>MTA „Lendület” Ultragyors Nanooptika Kutatócsoport, Wigner Fizikai Kutatóközpont, 1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33.

<sup>2</sup>Kísérleti Fizika Tanszék, Pécsi Tudományegyetem, 7624 Pécs, Ifjuság utja 6,

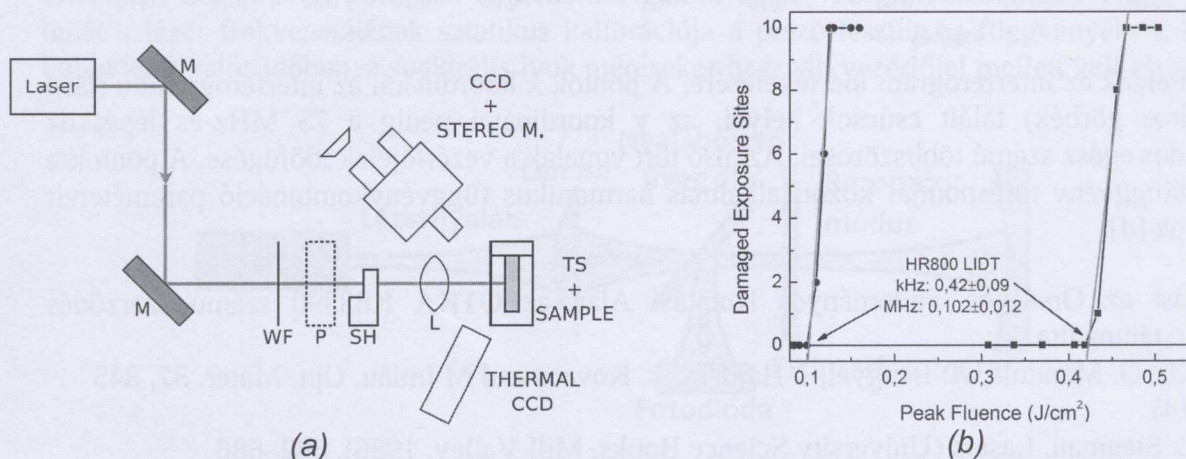
<sup>3</sup>Alkalmazott és Nemlineáris Optika Osztály, Wigner Fizikai Kutatóközpont,

\*nagy.benedek@wigner.mta.hu

A femtoszekundumos lézer indukálta roncsolási küszöb (Laser Induced Damage Threshold – LIDT) széles körben vizsgált különböző optikai elemekre Hz és kHz ismétlési frekvencia tartományban [1-5]. Ezek az eredmények értékesek a csörpölt impulzuserősítés (Chirped Pulse Amplification – CPA) tervezésekor ezeken az ismétlési frekvenciákon. A közelmúltban megjelentek nagy ismétlési frekvenciás (kHz-et meghaladó, akár néhány MHz-et elérő) femtoszekundumos rendszerek, egyre növekvő impulzusenergiával. Ilyen rendszerek például a femtoszekundumos optikai szálal CPA rendszerek [6], 250 MHz ismétlési frekvenciával és 250 W átlagteljesítménnyel, illetve passzívan módusszinkronizált Yb alapú koronglézerek [7] 65 MHz ismétlési frekvenciával, 370 fs impulzushosszal és 20,5 W átlagteljesítménnyel. Ezekben az esetekben is komoly tervezési feladat a rendszerek megfelelő méretezése az optikai elemek roncsolási küszöbének figyelembe vételével. MHz tartományban sokkal kevesebb [8]. Különböző ismétlési frekvenciákon összehasonlító mérések is születtek a Hz-kHz tartományon, de ezek eredménye sem egyezik [1,9,10], egy tanulmány készült kHz-MHz összehasonlítással picoszekundumos impulzusokkal [11].

Emiatt elvégeztünk számos LIDT mérést tipikus ultragyors optikában használt tükrökön lényegesen más ismétlési frekvencián működő Ti:zafir lézerrendszerekkel, miközben a többi paramétert érintetlenül hagytuk [12]. Az egyik egy regeneratív erősítő (Regenerative Amplifier – RA), a másik egy ún. hosszú rezonátoros Ti:zafir oszcillátor (Long Cavity Oscillator – LCO) rendre 1 kHz és 4.2 MHz ismétlési frekvenciával. A lézerek további paraméterei a mérés helyszínén a következők voltak: 123-128 fs impulzushossz, 795 nm (RA) és 805 nm (LCO) középhullámhossz,  $10,8 \pm 0,2 \mu\text{m}$  fókuszfolt méret. A mérési elrendezés az 1.(a) ábrán látható.

Két módszerrel végeztünk méréseket. (i) Az ISO 21254 szabvány alapján, mindkét lézer



1. ábra: A mérési elrendezés. M: tükrök, WF: forgatható szűrkeátmenetes szűrő, P: teljesítménymérő helye, SH: shutter, L: lencse, TS: x-y-z mozgató (a). Roncsolási küszöb meghatározása a roncsolási valószínűség hisztogramból a nagy reflexiójú tükrök esetén (b).

esetén 30 s-os besugárzási idő alkalmazásával, mely eltérő impulzusszámot eredményezett a két különböző ismétlési frekvencián. Ekkor a szabványnak megfelelően minden intenzitásértéken 10 pontot sugároztunk be, majd a roncsolási valószínűség hisztogramból illesztéssel meghatároztuk a roncsolási küszöböt a 1.(b) ábra szerint. (ii) A másik eljárás egy saját kidolgozású eljárás, mindkét lézer esetén egy 35.000 impulzusból vonulattal sugároztuk be a mintát. A mintát 5 különböző pontos sugároztuk be növekvő több impulzusvonulattal, növekvő intenzitással. A roncsolási küszöb az 5 ponthoz tartozó még nem roncsoló és a már roncsoló intenzitások átlagának átlaga. A mérési módszerekre a táblázatban rendre ISO kombinált és 5 pontos mérésneként hivatkozunk.

Mintáink dielektrikum védőréteggel ellátott arany és ezüst tükör, dielektrikum nagy reflexiójú tükör 800 nm-re tervezve (HR800) illetve egy csörpölt tükör. A mérési eredmények a különböző mintákon a két módszerrel és ismétlési frekvenciával az 1. táblázatban látható.

Módszer	ISO kombinált			5 pontos mérés		
	LIDT (J/cm <sup>2</sup> )		LIDT <sub>kHz</sub>	LIDT (J/cm <sup>2</sup> )		LIDT <sub>kHz</sub>
Minta	kHz	MHz	LIDT <sub>MHz</sub>	kHz	MHz	LIDT <sub>MHz</sub>
Ezüst tükör	1,26	0,133	<b>9,5</b>	0,80	0,166	<b>4,8</b>
Arany tükör	1,20	0,095	<b>12,6</b>	0,42	0,141	<b>3,0</b>
HR800	0,42	0,102	<b>4,1</b>	0,28	0,103	<b>2,7</b>
Csörpölt tükör	0,16	n/a	<b>n/a</b>	0,19	0,040	<b>4,8</b>

1. táblázat: Roncsolási küszöb eredmények kHz és MHz ismétlési frekvenciákon mindkét módszerrel különböző mintákra, és a kHz-en mért roncsolási küszöb növekedési faktora a MHz-en mért roncsolási küszöbhez képest (vastag keretben).

Az eredményekben megfigyelhető, hogy mindkét módszerrel jelentős különbség adódik a két különböző ismétlési frekvenciával okozott roncsolási küszöbre. Az átlagosan kisebb eredményt adó 5 pontos módszer is 2,7-4,8 közötti faktorokat adott. Mivel a többi, roncsolási küszöböt jelentősen befolyásoló paraméter azonos a két különböző ismétlési frekvencián, a különbség azok különbözőségéből adódik. Ennek oka a termikus effektusok relaxációs idejével függ össze, ugyanis a roncsolást kísérő termikus folyamatok lecsengésének karakterisztikus ideje hosszabb, mint két impulzus beérkezése között eltelt idő a MHz ismétlési frekvencia esetében, míg ez a karakterisztikus idő jobban összemérhető, vagy rövidebb a kHz ismétlési frekvenciával érkező impulzusok követési idejével. Ennek alátámasztására egy együttműködés keretében szimulációkat tervezünk végezni.

#### Referenciák:

- [1] M. Mero et al. Opt. Eng. **44**(5), 051107 (2005).
- [2] J. Bonse et al. Thin Solid Films **408**(1-2), 297–301 (2002).
- [3] S. Chen, Appl. Opt. **53** (15), 3347–3354 (2014).
- [4] K. Starke, Proc. SPIE **5273**, 388–395 (2004).
- [5] K. Starke, Proc. SPIE **4347**, 528–534 (2001).
- [6] C. Jocher et al. Opt. Lett. **37**(21), 4407–4409 (2012).
- [7] S.V. Marchese et al. Opt. Express **15**(25), 16966–16971 (2007).
- [8] J. Jasapara et al. Phys. Rev. B **63**, 045117 (2001).
- [9] A. Hertwig et al., Thin Solid Films **453-454**(0), 527–530 (2004).
- [10] J. Bonse et al. Thin Solid Films **408**(12), 297–301 (2002).
- [11] I.B. Angelov et al. Proc. SPIE **9237**, 92370H (2014).
- [12] B.J. Nagy et al. Proc. SPIE **9237**, 923711 (2014).