

Generace a zesilování ultrakrátkých laserových pulsů

A. Přáda, M. Saip, L. Buchta, J. Batysta

Gymnázium Ostrov, Střední škola informačních technologií Brno,
Gymnázium Velké Meziříčí, Gymnázium J. V. Jirsíka

adamprada@me.com, saip.martin@gmail.com,
buchta.lukas@gmail.com, batystaj@gmail.com

Abstrakt:

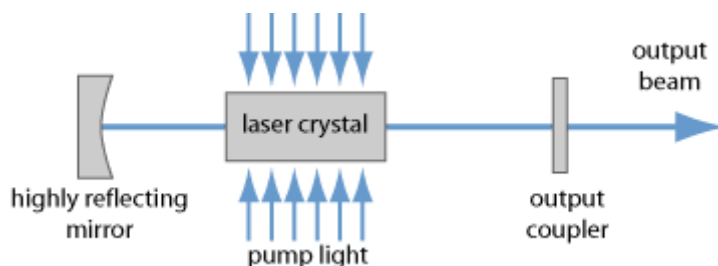
Práce seznamuje se základními informacemi o laserech s velmi krátkými pulsy. Tyto lasery využívají speciální technologie CPA pro rozmítnutí svazku a kompresoru pro jeho zpětné spojení. Pro určení délky ultrakrátkých pulsů bylo navíc nutné použít metody nepřímého měření jako autokorelátor nebo SPIDER.

1 Úvod

Náš miniprojekt jsme realizovali na výzkumném ústavu AV ČR PALS (Prague Asterix Laser System) v Praze Ládví. Pracovali jsme na femtosekundovém titan-safírovém laseru s oscilátorem Micra. Naše práce se zabývala vytvářením laserových pulsů a jejich měřením.

Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) je zdroj monochromatického koherentního a směrového paprsku záření. První laser byl vytvořen v roce 1960 Theodorem Maimanem. Tento laser byl krystalový (rubínový), ale v dnešní době známe i mnoho dalších druhů laserů, jako plynové (např. helium-neonový) nebo diodové.

Základem laseru je optický rezonátor, ve kterém může světlo obíhat (například mezi dvěma zrcadly). V této dutině je umístěno zesilovací médium (např. laserový krystal), které s každým oběhem světlo zesiluje stimulovanou emisí. Atom po dodání energie přejde do excitovaného stavu (s vyšší energií), poté při příchodu dalšího fotonu dojde k uvolnění energie (emisi), při kterém vydá dva fotony se stejnou fází, směrem i vlnovou délkou.



Obrázek č. 1 – Schéma laseru

2 Zesilování laserového pulsu s vysokou intenzitou

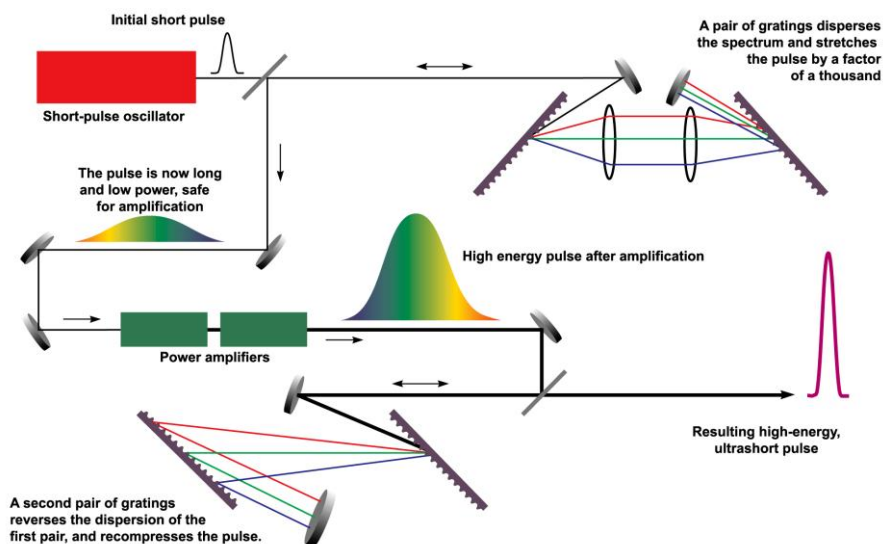
Pokud se energie laseru vybije při velmi krátkém pulsu, je krátkodobý výkon velmi vysoký a paprsek má velkou intenzitu. Intenzitu paprsku definujeme jako světelný výkon dopadající na určitou plochu.

$$P = E/t \quad [W]$$

$$I = P / S \quad [W \cdot m^{-2}]$$

Při intenzitě námi používaného femtosekundového laseru by došlo k poškození optických prvků a nelineárním vadám laserového paprsku. Potom bychom museli veškerou optiku zvětšit a rozložit výkon na větší plochu nebo ji vyrobit z drahých extrémně odolných materiálů.

Na tomto laseru se ovšem používá metoda CPA (chirped pulse amplification). V té se využívá tzv. frekvenčního rozmítnutí pulsu, kdy se vlnové délky rozdělí časově do delšího pulsu. Různé vlnové délky pak letí skrz zesilovače za sebou a mají tedy nižší intenzitu. Po konečném zesílení dochází v kompresoru k zpětnému srovnání vlnových délek do kratšího pulsu.

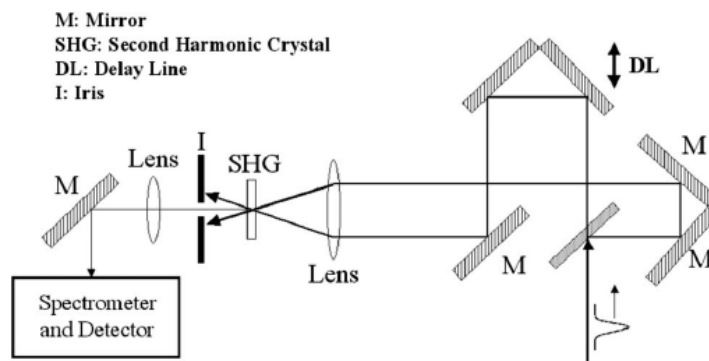


Obrázek č. 2 – Schéma CPA

3 Měření ultrakrátkých pulsů

Protože tyto pulsy trvají řádově desítky femtosekund, není možné je měřit přímo z důvodu příliš pomalé odezvy detektorů. Musíme tedy zvolit nepřímou metodu zjištění délky generovaných pulsů. Námi zvolený způsob měření využívá autokorelátoru.

V autokorelátoru dochází k rozdělení paprsku laseru na dva. Každý putuje po různě dlouhé optické dráze, a tak jeden z nich získá zpoždění. Poté je necháme reagovat v nelineárním prostředí (např. v krystalu) a měříme intenzitu odezvy. Poté počítač pomocí autokorelační funkce vyhodnotí zpoždění pulsů. Z grafu této funkce a její závislosti na změně optické dráhy můžeme vypočítat délku pulsu.



Obrázek č. 3 – Schéma autokorelátoru

Odezva byla snímána jednořádkovým CCD čipem. Nejprve jsme museli nakalibrovat stupnici pixelů na čipu k optické vzdálenosti. Tuto vzdálenost přepočteme na časový údaj pomocí znalosti rychlosti světla. Poté šířku peaku z grafu v pixelech přepočteme na dobu pulsu, musíme ale znát přibližný tvar pulsu a výsledek vynásobit vhodnou konstantou V našem případě se jedná přibližně o sech - hyperbolický sekans ($k \approx 0,64$).

Kalibraci jsme provedli posunutím zrcadel a odečtením odpovídajícího posunu v pixelech.

$$\begin{aligned} \text{posun } p &= 2 \cdot 0,16 \text{ mm} & p_{x1} &= 1492 & p_{x2} &= 1113 & \Delta p_x &= 379 \\ t &= p/c & t &= 1,067 \cdot 10^{-12} \text{ s} & \text{poměr } x &= 2,816 \text{ fs/px} & \text{šířka peaku } s &= 37,5 \text{ px} \\ \text{délka pulsu} &= s \cdot x \cdot k & \text{délka pulsu} &= \mathbf{67,6 \text{ fs}} \end{aligned}$$

Pro ověření výsledků první metody jsme pulsy přeměřili pomocí systému SPIDER (Spectral Phase Interferometry for Direct Electric-field Reconstruction = Spektrálně fázová interferometrie pro přímou rekonstrukci elektrického pole). Ten má výhodu, že měří i fázi pulsu, kromě samotné délky. Tam jsme ověřili délku pulsu na 66 fs.

Závěr

Lasery jsou velmi perspektivním oborem a mají široké spektrum uplatnění. Tuto práci jsme vypracovali v centru PALS AV ČR. V této práci jsme se zabývali způsobem generace a zesilování ultrakrátkých pulsů pomocí technologie CPA. Také jsme pomocí metod autokorelace a SPIDER změřili délku těchto femtosekundových pulsů.

Poděkování

Děkujeme panu prof. Janu Hřebíčkoví a paní Ing. Michaele Kozlové, Ph.D. za vedení při projektu a trpělivost s našimi dotazy. Dále děkujeme personálu Prague Asterix Laser System a Ústavu fyziky plazmatu AV ČR.