

STUDIUM INTERAKCE FOKUSOVANÉHO SVAZKU XUV KAPILÁRNÍHO LASERU S PEVNOU LÁTKOU NEVRATNÉ POŠKOZENÍ A IONTOVÁ EMISE

Autor: **Bc. Jakub Bulička**

Vedoucí úkolu: **Ing. Libor Juha, CSc.**

Konzultant: **Ing. Luděk Vyšín, PhD.**



① TEORETICKÁ ČÁST VÚ

Fokusace XUV svazků

Charakterizace XUV svazků

② EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST VÚ

Kapilární výbojový XUV laser

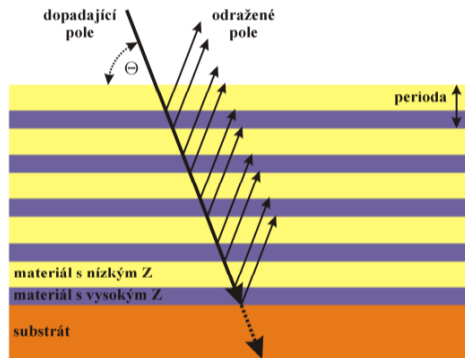
Hmotnostní spektroskopie využívající XUV CDL

Data z XUV CDL TOF MS měření

BRAGGOVA DIFRAKČNÍ PODMÍNKA

$$m\lambda = 2d \sin \theta$$

- ~ 10 vrstev
- Velký rozdíl $n \Rightarrow$ odraz
- Pro XUV/měkké RTG (< 1 keV)
- Mo/Si, Sc/Si, W/C, Mo/Be



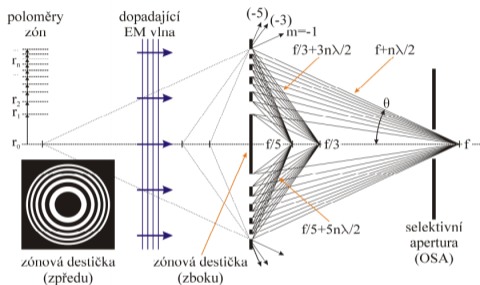
OBR.: Struktura mnohovrstvého zrcadla.

Zdroj: J. Chalupský: *Charakterizace svazků rentgenových laserů různých typů*. 2012. Dis. práce.

POLOMĚR N-TÉ ZÓNY (r_n)

$$f^2 + r_n^2 = (f + n\lambda/2)^2 \Rightarrow r_n \approx \sqrt{n\lambda f}$$

- Konstruktivní interference vln se stejným znaménkem
- Ohnisková vzdálenost je funkcí λ
- Ztráty v záporných zónách



OBR.: Princip binární zónové destičky.

Zdroj: J. Chalupský: *Charakterizace svazků rentgenových laserů různých typů*. 2012. Dis. práce.

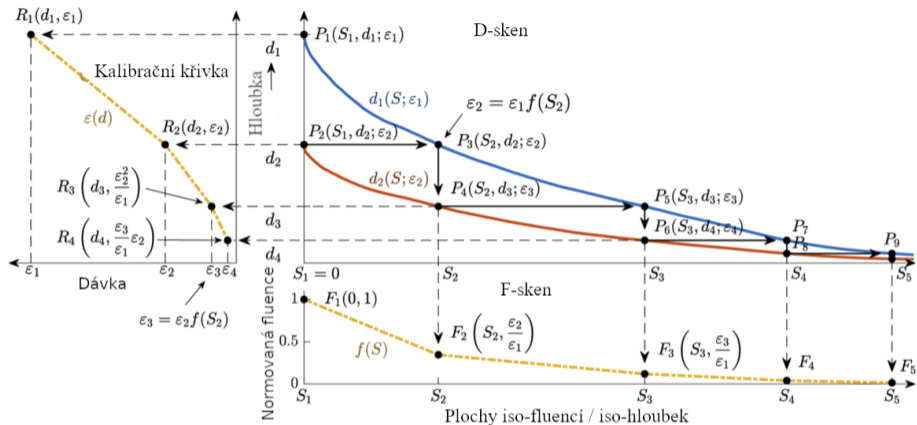
Přímé metody

- 1 Luminiscenční detektory
- 2 Metody ablačních a desorpčních imprintů

Nepřímé metody

- 1 Rentgenové CCD kamery
- 2 Hartmanův senzor

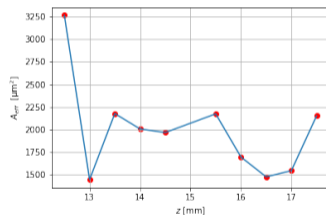
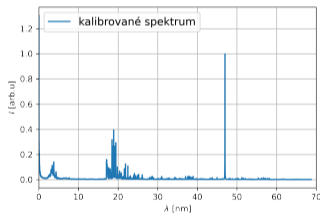
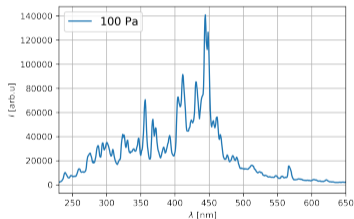
METODA ABLAČNÍCH IMPRINTŮ



OBR.: Schéma NoReFry algoritmu.

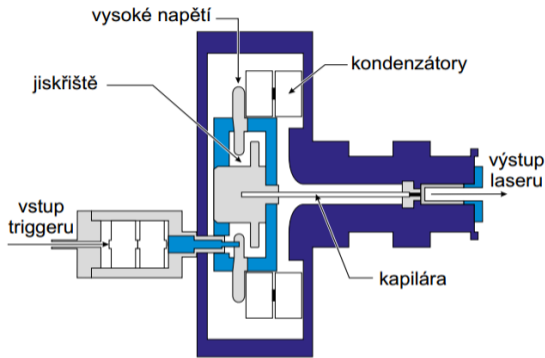
Zdroj: V. Vozda a kol.: *Characterization of megahertz X-ray laser beams by multishot desorption imprints in PMMA*. Optics Express, **28**, 25664 (2020).

- Navazuje na experimentální část BP
- Hlavní výstup - posoudit vliv interakčních podmínek na nevratné změny a iontovou emisi vyvolané XUV zářením.



OBR.: UV-Vis spektrum (vlevo), spektrum krátkovlnného záření (veprostřed) a kaustická křivka (vpravo) pro XUV CDL.

KAPILÁRNÍ VÝBOJOVÝ XUV LASER (XUV CDL)



OBR.: Schéma laserové hlavy kompaktního repetičního kapilárního výbojového XUV laseru (vlevo) a kompletní sestava CDL.

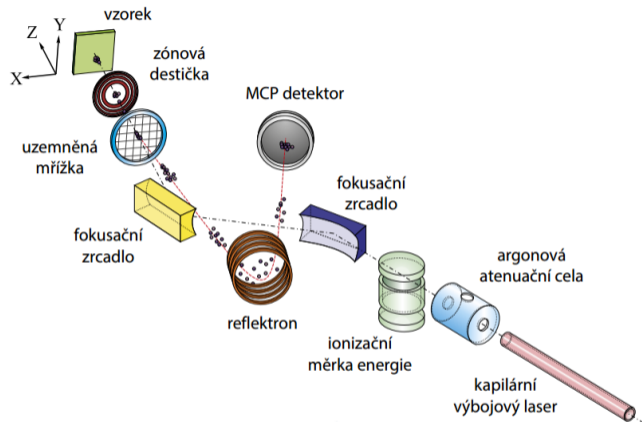
Zdroj: J. Chalupský a kol.: *Fokusovaný svazek repetičního kapilárního laseru na 46,9 nm*. Čs. čas. fyz. **58**, 234 (2008).

Rozměry	$0,4 \times 0,4 \text{ m}^2$ ($0,4 \times 0,8 \text{ m}^2$ včetně TM)
Hmotnost	400 kg
Vlnová délka	46,9 nm
Délka pulzu	1,5 ns (FWHM)
Energie pulzu	$> 10 \mu\text{J}$
Opakovací frekvence	5 Hz (běžně); 12 Hz (max)
Životnost kapiláry	$(2 - 3) \times 10^4$ pulzů
Proud	$\sim 21 \text{ kA}$
Kapilára	Al_2O_3 ($d = 3,2 \text{ mm}$, $l = 210 \text{ mm}$)

TABLE: Parametry CDL. TM - turbomolekulární (vývěva), FWHM - (délka pulzu) v polovině maximální intenzity, d - vnitřní průměr (kapiláry), l - délka (kapiláry).

Zdroj: L. Vyšín a kol.: *Characterization of focused beam of desktop 10Hz capillary-discharge 46.9-nm laser.* Proc. SPIE **7361**, Damage to VUV, EUV, and X-Ray Optics II, 736100 (2009)

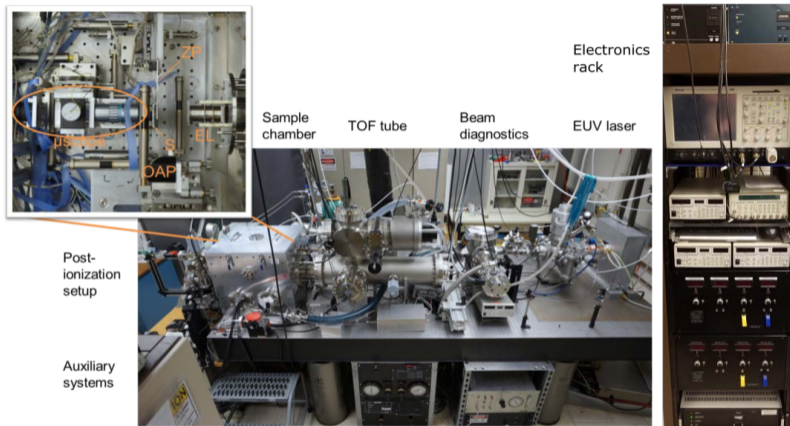
HMOTNOSTNÍ SPEKTROSKOPIE VYUŽÍVAJÍCÍ XUV CDL



OBR.: Schéma aparatury pro XUV CDL TOF MS měření.

Zdroj: T. Burian a kol.: *Hmotová spektrometrická mikroskopie využívající ablaci XUV laserem*. Čs. čas. fyz. **65**, 259 (2015).

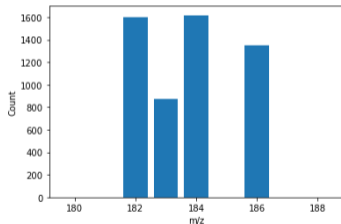
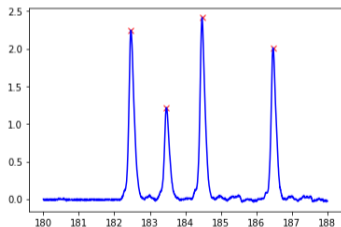
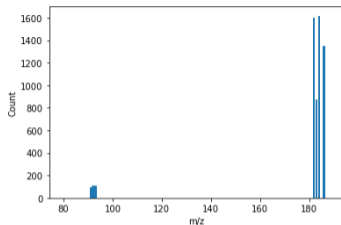
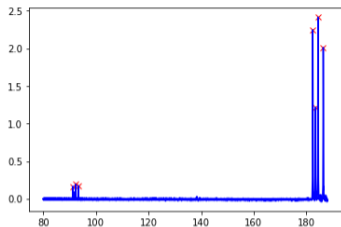
HMOTNOSTNÍ SPEKTROSKOPIE VYUŽÍVAJÍCÍ XUV CDL



OBR.: Aparatura pro XUV CDL TOF MS měření.

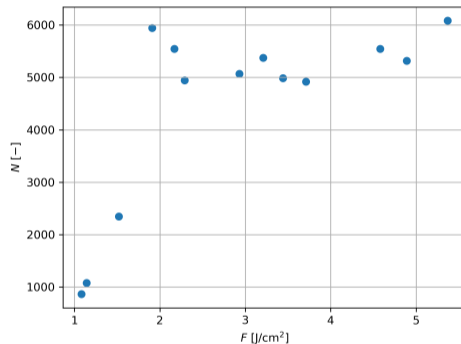
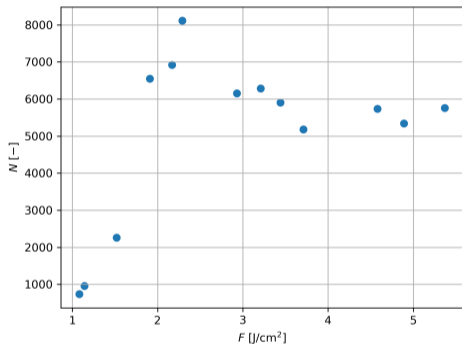
Zdroj: I. Kuznetsov: *Extreme Ultraviolet Laser Ablation Mass Spectrometer for Molecular Imaging at the Nanoscale*. 2018. Dis. práce.

DATA Z XUV CDL TOF MS MĚŘENÍ I



OBR.: Hmotnostní spektra a histogramy pro wolfram (bez atenuace).

DATA Z XUV CDL TOF MS MĚŘENÍ II



OBR.: Závislost fluence F na četnosti N pro wolfram (průměr vrstev 2 a 3 (vlevo) a vrstva 3 samostatně).

- Byla proměřena iontová emise z W, W+Cr, PMMA a dalších
- Dokončit rekonstrukci CDL na FZU
- Proměřit průběh energie svazku XUV CDL

- **Rentgenová optika**

- J. Chalupský: *Charakterizace svazků rentgenových laserů různých typů*. Praha, 2012. Disertační práce. ČVUT FJFI KFE, školitel: Doc. Ing. Ladislav Pína, DrSc., školitel-specialista: Ing. Libor Juha, CSc.
- J. Chalupský a kol.: *Comparing different approaches to characterization of focused X-ray laser beams*. Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A **631**, 130 (2011).

- **Kompaktní repetiční XUV CDL**

- J. Chalupský a kol.: *Fokusovaný svazek repetičního kapilárního laseru na 46,9 nm*. Čs. čas. fyz. **58**, 234 (2008).
- S. Heinbuch a kol.: *Demonstration of a desk-top size high repetition rate soft x-ray laser*. Opt. Express **13**, 4050 (2005).
- L. Vyšín a kol.: *Characterization of focused beam of desktop 10Hz capillary-discharge 46.9-nm laser*. Proc. SPIE **7361**, Damage to VUV, EUV, and X-Ray Optics II, 736100 (2009).

- **Hmotová spektrometrie využívající XUV CDL**

- T. Burian a kol.: *Hmotová spektrometrická mikroskopie využívající ablace XUV laserem*. Čs. čas. fyz. **65**, 259 (2015).
- I. Kuznetsov a kol.: *Three-dimensional nanoscale molecular imaging by extreme ultraviolet laser ablation mass spectrometry*. Nat. Commun. **6**, 6944 (2015).
- I. Kuznetsov: *Extreme Ultraviolet Laser Ablation Mass Spectrometer for Molecular Imaging at the Nanoscale*. Fort Collins, Colorado, 2018. Disertační práce. CSU Departement of Electrical and Computer Engineering. Advisor: Carmen Menoni.

Děkuji za pozornost.