

# Instrumentace ve spektrometrii laserem buzeného plazmatu (LIBS)



*Laboratoř atomové spektrochemie*

*Laboratoř fyziky plazmatu a plazmových zdrojů*

*Přírodovědecká fakulta Masarykovy  
University, BRNO*



Mgr. Karel Novotný PhD.

# Základní komponenty

pulzní laser

zaostřovací optika

ablační komora

zařízení pro posun vzorku

zařízení pro pozorování povrchu vzorku

snímání emise mikroplazmatu

spektrometr

detektor

zařízení pro synchronizaci (delay generátor)

vyhodnocení signálu

# Další komponenty

druhý pulzní laser (pro techniku „double pulse“)

laditelný laser (pro techniku LIFS)

vakuová technika (pro měření za sníženého tlaku)

kyvety (pro měření plynů a aerosolů)

speciální optika, průplach inertním plynem (pro měření ve vakuové UV oblasti)

teleobjektiv – pro měření na dálku

sondy s optickými vlákny

# LASERY

## Pevnolátkové (aktivní prostředí dopované krystaly)



Nd:YAG lasery – délka pulsu 5 – 10 ns, základní vlnová délka 1064 nm

Big Sky Laser (Quantel) – frekvence pulzů typicky 10 – 20 Hz (50 Hz)  
energie pulzu 50 – 800 mJ,  
Gaussovský profil paprsku



Brilliant Twins (dual oscillator system, double pulse)

Continuum (Powerlite, Surelite series)  
energie pulzu až 3 J při 1064 nm



Coherent (až 5 J, při 532 nm, „flat top“ profil paprsku, použití pro čerpání  
Ti:Safírového laseru)

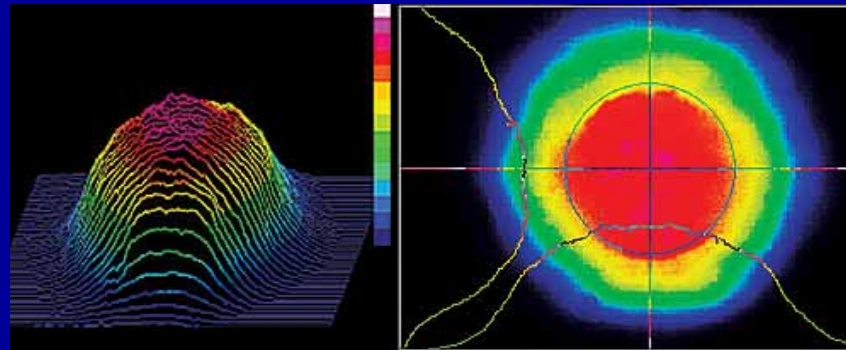
# LASERY



Solar TII (LF 117) při 10 Hz, 860 mJ@1064 nm, 125mJ@266 nm)

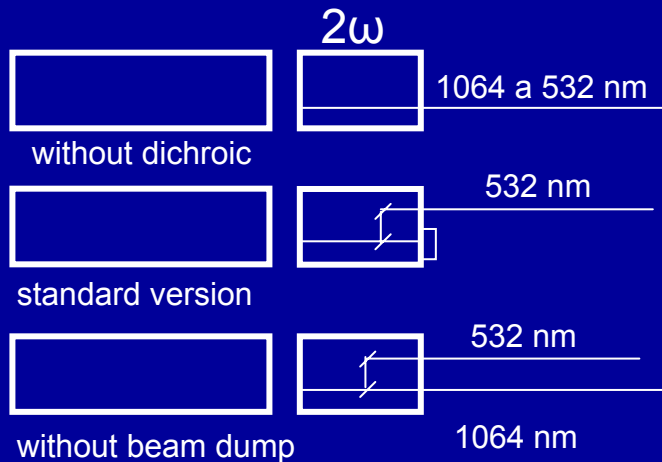
Solar LQ série (LQ 129) při 10 Hz, 500 mJ@1064 nm

## Profil paprsku

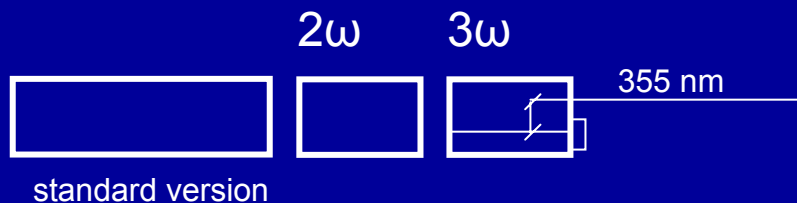


„Flat top“ profil: vznik kráterů s plochým dnem, vyšší hloubkové rozlišení  
vhodnější pro čerpaní laditelných laserů

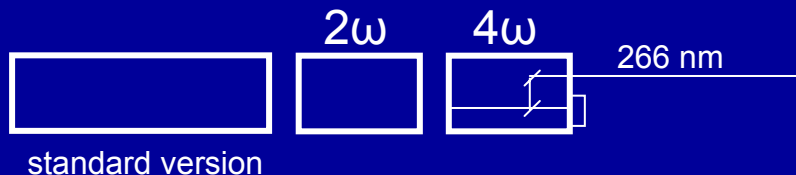
## $\omega$ Frequency doubling



## $\omega$ Frequency tripling



## $\omega$ Frequency quadrupling

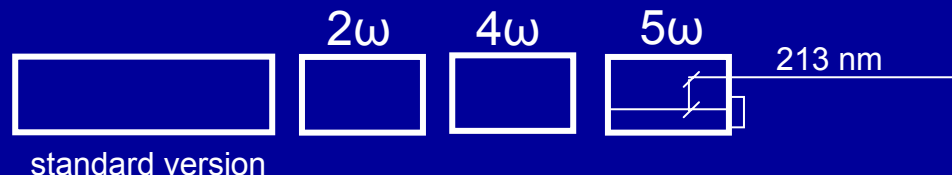


## OPO systémy: (optical parametric oscillator)

vlnová délka (nm)		energie pulzu* (mJ)
1064	(základní)	800
532	(druhá harmonická)	400
355	(třetí harmonická)	100
266	(čtvrtá harmonická)	80
213	(pátá harmonická)	16

\* Big Sky Laser (Quantel)

## $\omega$ Frequency quintupling



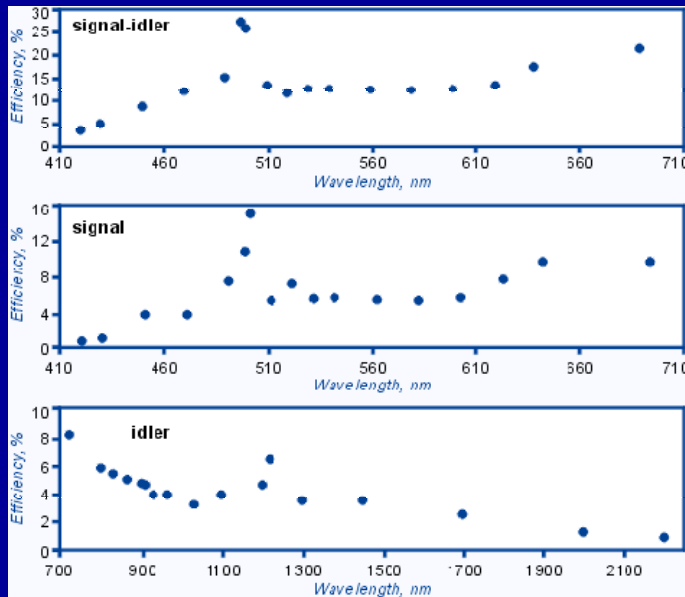
# Laditeľné lasery

pevnotátkové – vysoká energia pulzu – ablacie, fluorescence (LIF)

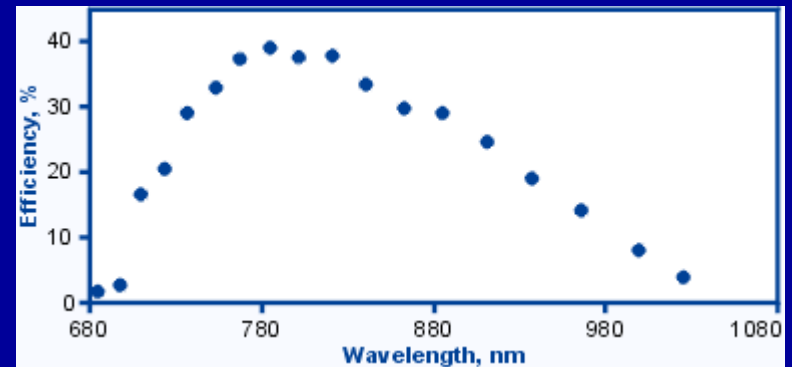


COPO2200 "CHAMELEON"

BBO kryštál

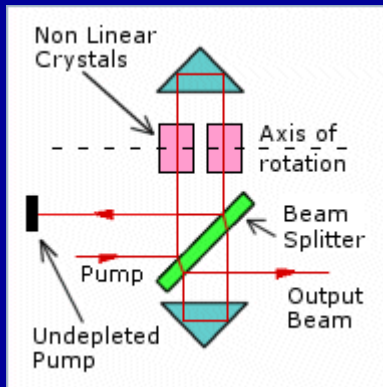


Ti:Sapphire Laser model  
CF125



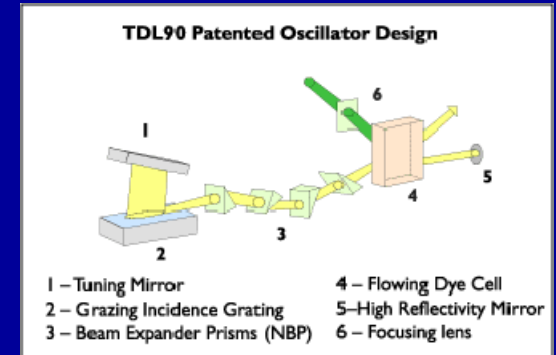
# Laditelné lasery

Opotek - MagicPrism™



čerpání 355 nm (410 – 1200 nm)  
čerpání 532 nm (680 – 1700 nm)

Barvivový laser TDL 90 (Quantel)



Twin OPO – Dual pulse system

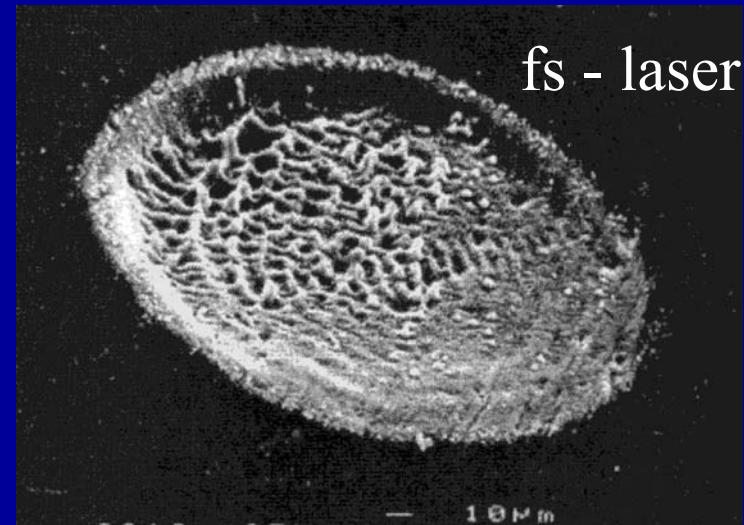
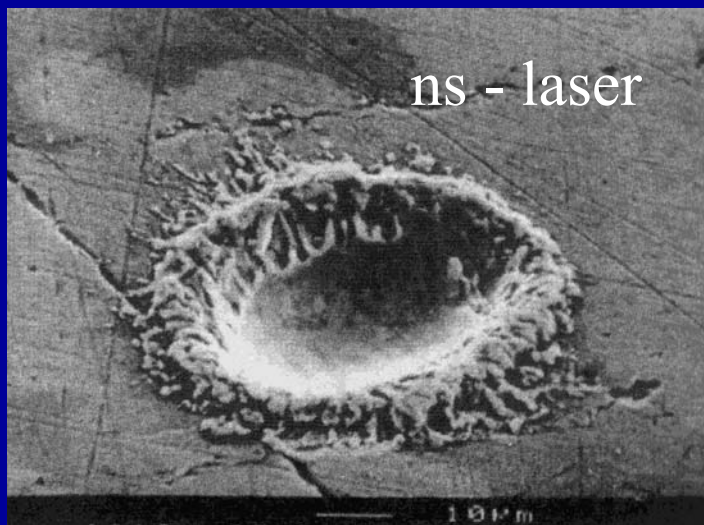




# Femtosekundové lasery

## Vliv délky pulsu

- při kratších pulsech snižování tavení a napařování materiálu, minimalizace frakcionace selektivním vypařováním z taveniny
- menší energie mikroplazmatu – snižování atomizace materiálu ablatovaného ze vzorku



K. Niemax, Laser ablation – reflection on a very complex technique for solid sampling, Fresenius J. Anal. Chem. (2001) 370:332-340)

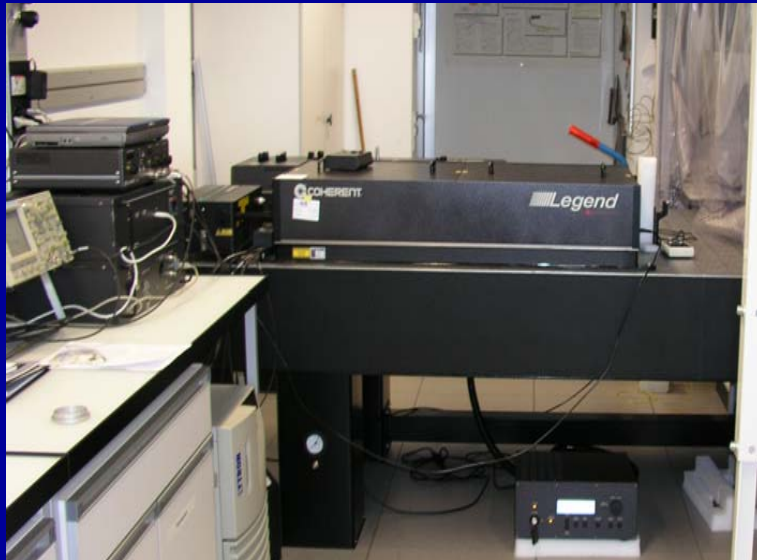
# Femtosekundové lasery

## Coherent (Legend)

multi wavelengths (760-840 nm,  
frequency doubled, tripled and  
quadrupled)

<40fs, <130fs nebo 0.5 - 2ps

1 – 2,5 mJ 1kHz



## Spectra - Physics

### Tsunami Ultrafast Ti:Sapphire Laser

700–1000 nm

<100 fs

~15 nJ 80 MHz

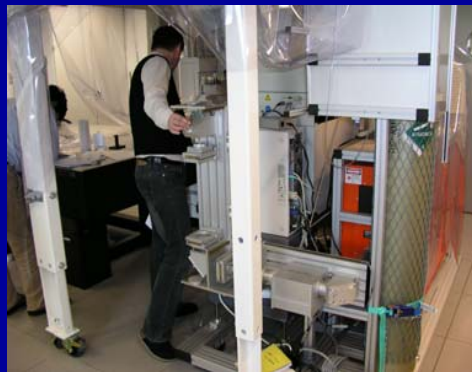


# Excimerové lasery

aktivní prostředí	vlnová délka
ArF	193 nm
KrF	248 nm
XeCl	308 nm
XeF	351 nm



řada COMpexPro (200 – 400 mJ, 10-20 ns)



Geolas M, Microlas  
ETH Curych  
zařízení pro  
homogenizaci  
laserového paprsku



řada ExciStar TuiLaser (Coherent)  
navíc F<sub>2</sub> 157 nm (1 mJ, 15 ns)

GAM LASER, INC.  
EX100 Excimer Laser

# Měření energie

- optické (1 nW – 300 mW)
- pyroelektrické (1 nJ – 300 J)
- termočláňkové (10  $\mu$ W – 30 kW)

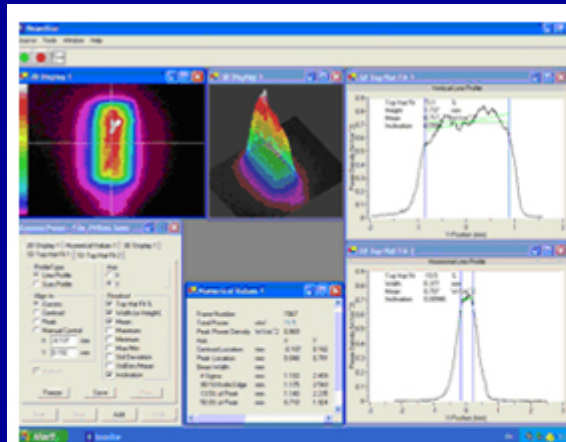
(FieldMaxII-TOP Coherent)



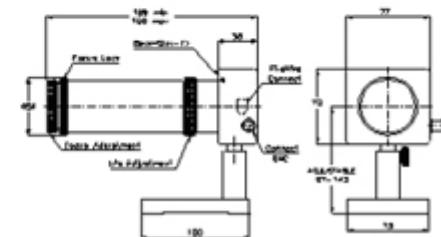
možnost měření energie jednotlivých pulzů  
měření výkonu  
statistika (průměr a odchylka jednotlivých pulzů)  
USB připojení k PC  
analogový výstup

měření profilu paprsku

Ophir  
BeamStar FX  
(CCD profilometr)



Shown here is a profile  
of a 248nm excimer laser beam



# Laserová optika

hranoly

zrcadla (polopropustná)

čočky

beam expandery

optika na tvarování laserového paprsku

okénka (clony)

optická vlákna

# Laserová optika

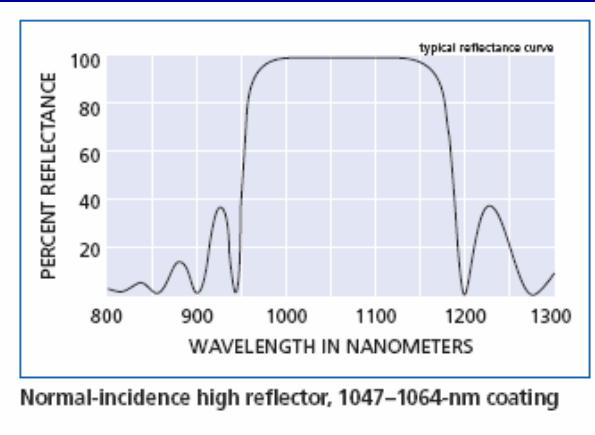
hranoly



zrcadla



**Melles Griot**  
**ThorLabs**



High-Energy Normal-Incidence High Reflectors

Wavelength (nm)	Laser Type	$R_{\text{avg}}$	Optical Material	Damage Threshold (pulsed)	Damage Threshold (cw)	Coating	$\phi$ (mm)	$t$ (mm)	CA* (mm)	PRODUCT NUMBER
193	ArF	>98%	UVGSFS	2 J/cm <sup>2</sup> in 10 nsec	—	Durable	50.0	10	45.0	16 MLQ 015
193	ArF	>98%	CaF <sub>2</sub>	2 J/cm <sup>2</sup> in 10 nsec	—	Durable	50.0	10	45.0	16 MLC 015
248	KrF	>99%	UVGSFS	2 J/cm <sup>2</sup> in 10 nsec	—	Ultrahard	50.0	10	45.0	16 MLQ 025
261–266	4th harmonic Nd	>99%	UVGSFS	12.5 J/cm <sup>2</sup> in 10 nsec	—	Ultrahard	25.0	6	22.5	16 MLQ 262
308	XeCl	>99.5%	UVGSFS	2 J/cm <sup>2</sup> in 10 nsec	—	Ultrahard	50.0	10	45.0	16 MLQ 035
351–355	3rd harmonic Nd	>99.5%	BK7	3 J/cm <sup>2</sup> in 10 nsec	—	Ultrahard	25.0	6	22.5	16 MLB 133
400–700	Visible	>99%	BK7	—	1 kW/cm <sup>2</sup>	Ultrahard	25.0	6	22.5	16 MLB 333
454–529	Ar	>99.5%	BK7	—	1 kW/cm <sup>2</sup>	Ultrahard	25.0	6	22.5	16 MLB 353
523–532	Nd	>99.5%	BK7	9.7 J/cm <sup>2</sup> in 10 nsec	50 kW/cm <sup>2</sup>	Ultrahard	25.0	6	22.5	16 MLB 153
523–532 & 1047–1064	Nd	>99.5%	BK7	2 J/cm <sup>2</sup> in 1 nsec @ 532 nm; 3 J/cm <sup>2</sup> in 1 nsec @ 1064 nm	1 MW/cm <sup>2</sup>	Ultrahard	25.0	6	22.5	16 MLB 173
610–870	Diode, Dye	>99.5%	BK7	2 J/cm <sup>2</sup> in 10 nsec	—	Ultrahard	25.0	6	22.5	16 MLB 610
633	HeNe	>99.5%	BK7	—	1 kW/cm <sup>2</sup>	Ultrahard	25.0	6	22.5	16 MLB 633
650–730	Ti:Sapphire	>99%	BK7	—	1 kW/cm <sup>2</sup>	Ultrahard	25.0	6	22.5	16 MLB 513
647–876	Kr Diode, Dye	>99.5%	BK7	—	1 kW/cm <sup>2</sup>	Ultrahard	25.0	6	22.5	16 MLB 483
700–1100	Ti:Sapphire	>98%	BK7	—	1 kW/cm <sup>2</sup>	Ultrahard	25.0	6	22.5	16 MLB 503
1047–1064	Nd	>99.5%	BK7	23.7 J/cm <sup>2</sup> in 20 nsec	5 MW/cm <sup>2</sup>	Ultrahard	25.0	6	22.5	16 MLB 183



# Laserová optika

## zaostření paprsku

- čočky
- mikroskopové objektivy
- objektivy na optická vlákna

## beam expander

- redukce divergence paprsku
- snížení hustoty výkonu pro další optické prvky
- v kombinaci s clonami výběr části paprsku (centrální část)
- v kombinaci s hranoly, zrcadly nebo čočkami možnost tvarování paprsku

Příklad: Nd:YAG 1064 nm

**Materiál:** Křemenné sklo

**Vlnová délka:** 1064 nm

**Antireflexní vrstva**

**Odraz** 0.1- 0.2%

**Hustota výkonu** 2 GW/cm<sup>2</sup>  
( pro 20 ns, 20Hz)

Příklad: Excimer ArF 193 nm

**Materiál:** CaF<sub>2</sub>

**Vlnová délka:** 193 nm

**Antireflexní vrstva**

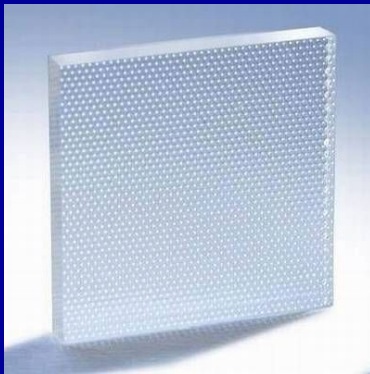
**Odraz** 0.5%

**Hustota výkonu** 400 MW/cm<sup>2</sup>  
( pro 20 ns, 20Hz)



# Laserová optika

optika na tvarování laserového paprsku – beam homogenizéry  
pro dosažení plochého „flat top“ profilu

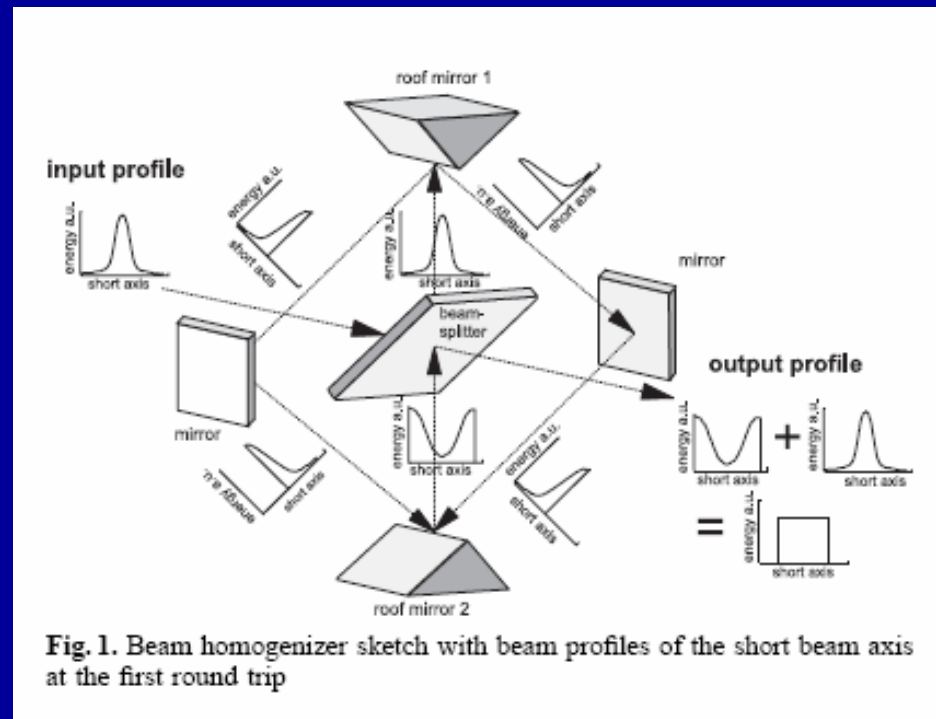


soustava mikročoček

holografické

LCD

s využitím zrcadel





# Laserová optika

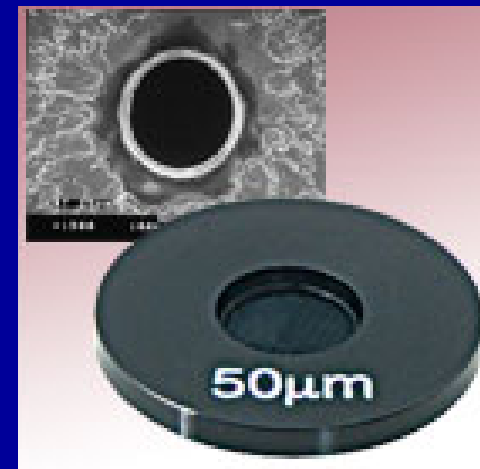
okénka — křemenné sklo, BK7 (borosilikátové sklo)

- antireflexní povrch,
- vysoká odolnost proti ablaci
- paralelní roviny



clony — „pinhole“ — výběr části profilu paprsku laseru

- výběr části emise mikroplazmatu (spatial resolved detection)
- přesné otvory (kruhové nebo stěrby)
- odolné proti ablaci



# Laserová optika

Meopta Přerov – široká škála optických komponent, hranoly, čočky, zrcadla

## **Výzkumné a vývojové pracoviště**

(cca 50 pracovníků)

Zkušenosti s širokou škálou opticko mechanických a optoelektrických aplikací a přístrojů

Výpočty optických sestav

Vývoj a výpočet supertenkých optických vrstev

Prototypová dílna

Zkušební laboratoře - všechny typy testů - optické, mechanické, životnostní

Vývojová optická dílna Akademie věd České republiky  
(VOD AV ČR, Trutnov)

Laserová optika (kromě krystalových rezonátorů) například :

zrcadla rezonátorů, průhledy, zrcadla, čočky, díly rezonátorových trubic,  
Brewsterova okénka, rozšiřovače svazku, klasické polarizátory,  
kontinuální děliče svazku.

Optické prvky jsou optimalizované pro požadovanou vlnovou délku  
a obrobeny s maximální proleštěností a čistotou.

# Laserová optika

## optická vlákna

- transport laserového paprsku



FOLA: Fiber Optic Launch Adapter available for the Ultra (Big Sky Laser)

v současné době začínají nabízet výrobci laserů jako příslušenství

optické sondy využívající jedno optické vlákno k transportu paprsku i detekci záření zatím nejsou běžně dostupné

možnost výroby na zakázku (např. Applied Photonics)

- transport emise mikroplasmatu

poměrně široký výběr (často jako příslušenství k spektrometrům)

pro různé rozsahy vlnových délek (i do vakuové UV oblasti)

svazky s různým geometrickým uspořádáním

adaptéry pro zaostření na vstupní štěrby monochromátoru

s koncovými objektivy

dělené pro registraci referenčního signálu

pevné konce nebo možnost řezání na požadovanou délku

ztráty v závislosti na materiálu, délce vlákna a vlnové délce záření

# Držáky, ablační komory

Jednoduché držáky vzorků při měření bez ochranné atmosféry

- uchycení různých tvarů a velikostí pevných vzorků
- jednoduchá manipulace a výměna vzorku
- snadná přístupnost
- práškové materiály – držáky tablet
- karusely pro sériové analýzy
- definovaná vzdálenost od čočky
- spojení se zařízením pro posun vzorku

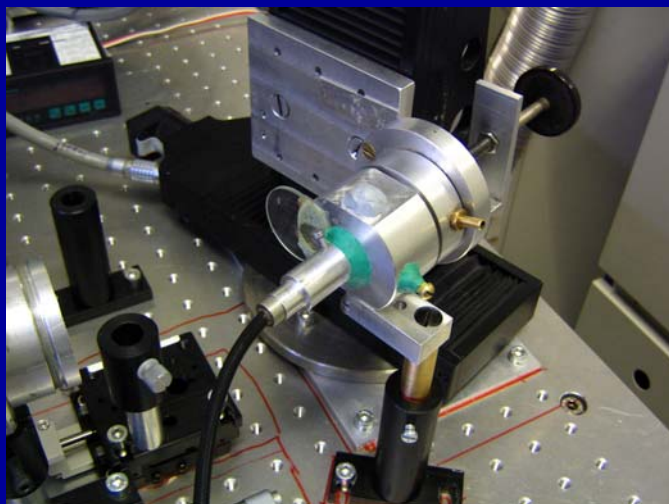
Ablační komory

- měření v ochranné atmosféře (Ar, He ....) zvýšení signálu, snížení interferencí, zlepšení hloubkových profilů
- měření za sníženého tlaku
- měření v kombinaci s dalšími technikami

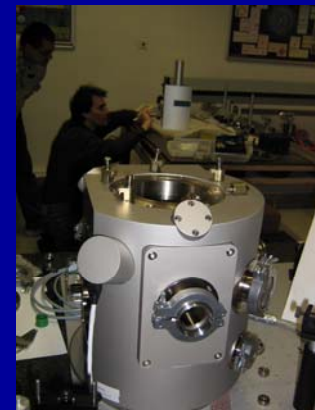
komerčně komory pro aparatury LA-ICP-AES/MS

- možnost úpravy
- v komerčně dodávaných LIBS spektrometrech

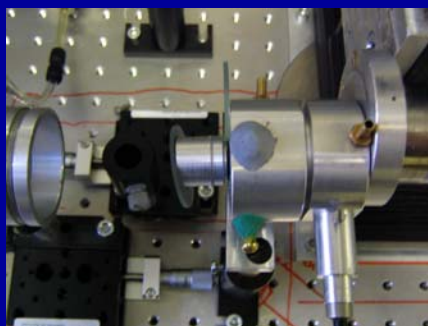
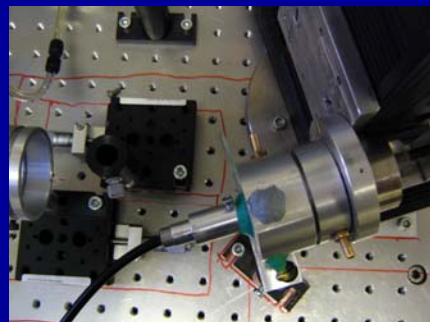
# Abláční komory



ablační komora  
el. mikroskop  
Tescan  
(VUT Brno)

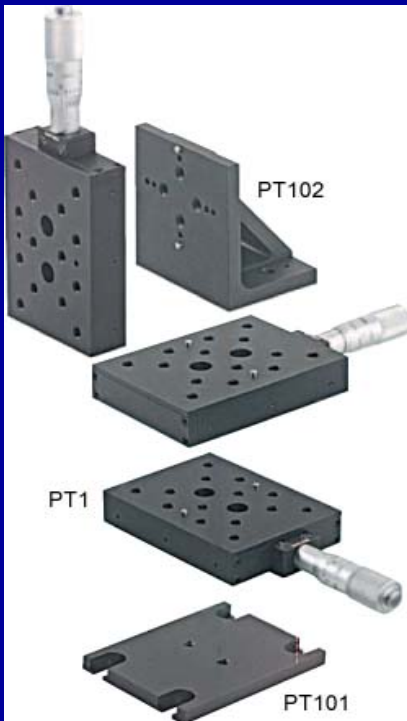


ablační komora  
„home made“  
(PřF MU Brno)



# Zařízení pro posun vzorku

- pohyb ve třech osách (X, Y) – pohyb paprsku po povrchu vzorku  
(Z) pro zaostření a doostřování paprsku
  - při zahlubování kráteru,
  - v případě tvarovaných vzorků – spojení s měřením vzdálenosti
- rozdílné nároky na X, Y posuny dle použití:
  - nejjednodušší – manuální pomocí mikrometrických šroubů  
( popř. mikroskopový stolek v kombinaci s mikroskopem)



nosnost až 5 kg  
rozsah 15 mm  
rozlišení 3  $\mu\text{m}$



nosnost 500g  
rozsah hrubě 3 mm  
rozsah jemně 300  $\mu\text{m}$   
rozlišení hrubě 2  $\mu\text{m}$   
rozlišení jemně 0,1  $\mu\text{m}$



# Zařízení pro posun vzorku

- motorizované posuny – krokové motory, piezoelektrické pohony

- možnost naprogramování pohybu, tvar ablační stopy, rychlost posuvu

- kružnice pro bulk analýzu

- lineární scany – vrstevnaté vzorky


- rastry pro mapování povrchů

- synchronizace s laserovými pulsy (vhodný software např. LabView)


▶ High Quality Stepper Motor

▶ Few Micrometers Positioning Accuracy

▶ Compact, Low Profile Design






XYZ Configuration with NST100



NRT100

### Related Products

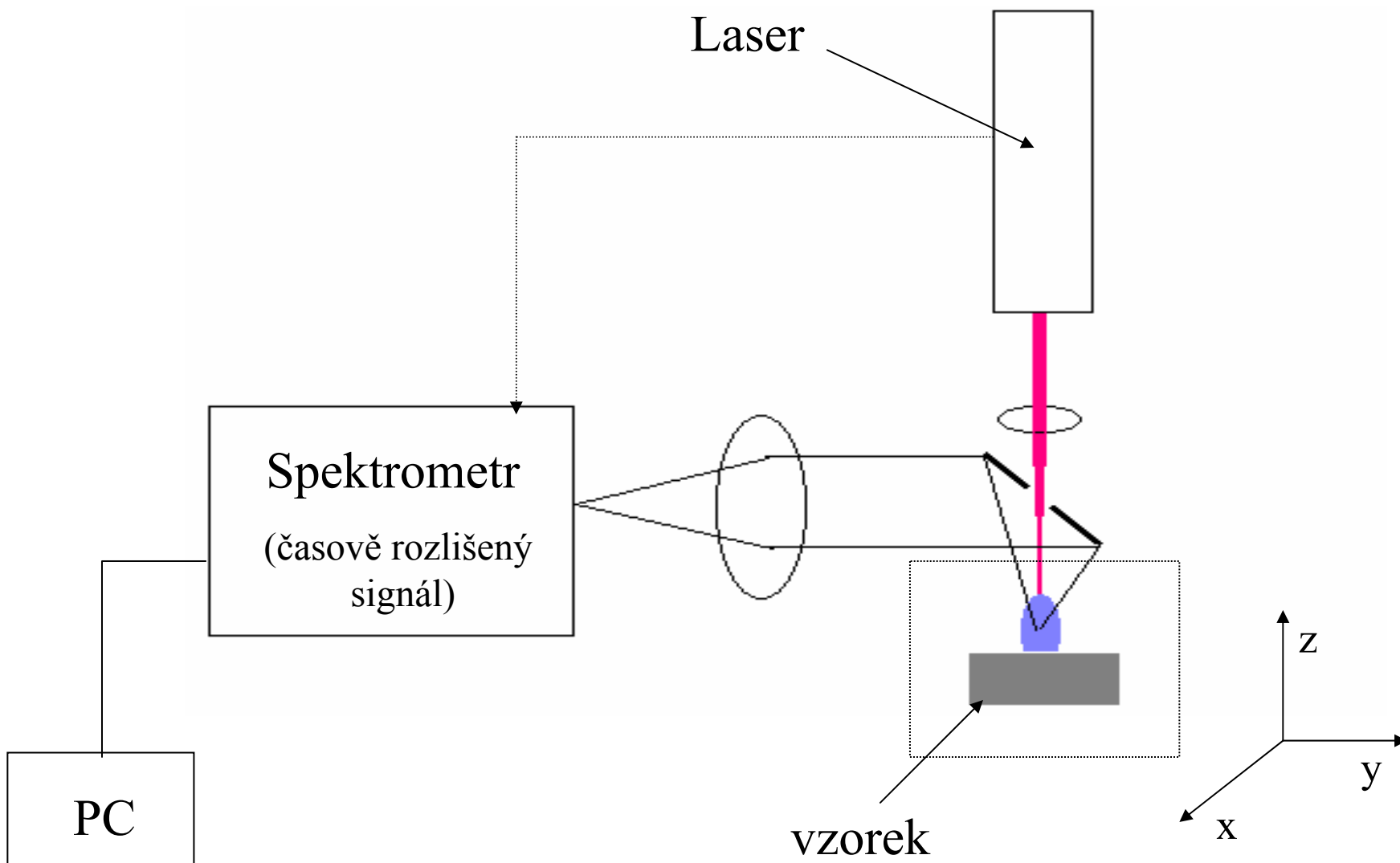
 <p>Single-Channel Stepper Motor Controllers</p>	 <p>50mm Travel Stage Modulators</p>	 <p>360° Rotation Stages</p>
---	---	---

# Snímání emise mikroplazmatu

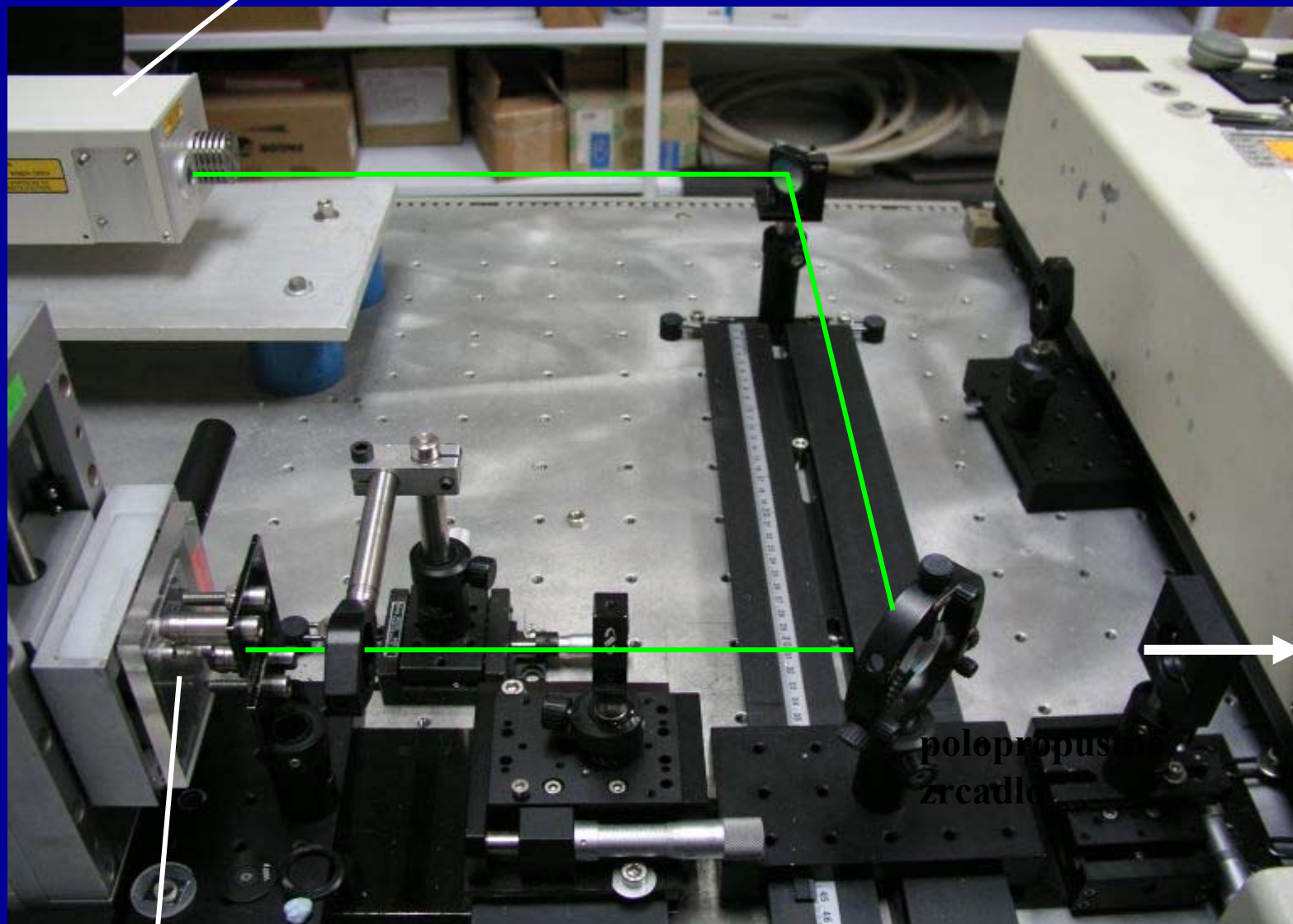
- přímé zobrazení na štěrbinu monochromátoru (zrcadlo, čočky objektiv)
- použití optických vláken
- použití teleobjektivů (při měření na dálku)



# Uspořádání s polopropustným zrcadlem (zrcadlem s otvorem)



Laser



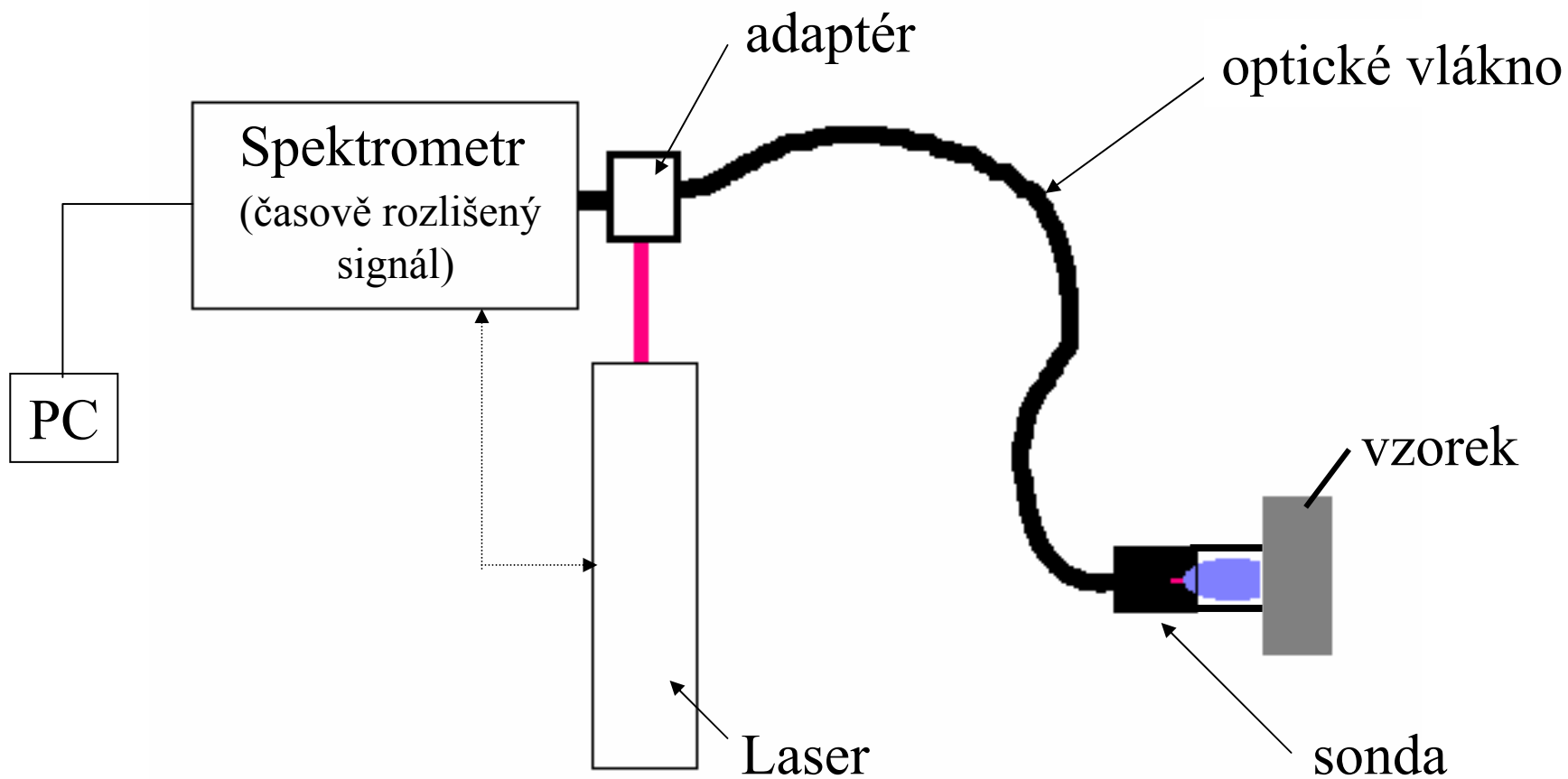
Vzorek

Detektor

polopropusné  
zrcadlo

# Uspořádání s optickými vlákny

přenosná mobilní zařízení – in-situ monitoring



# Field-Portable LIBS Analyzer

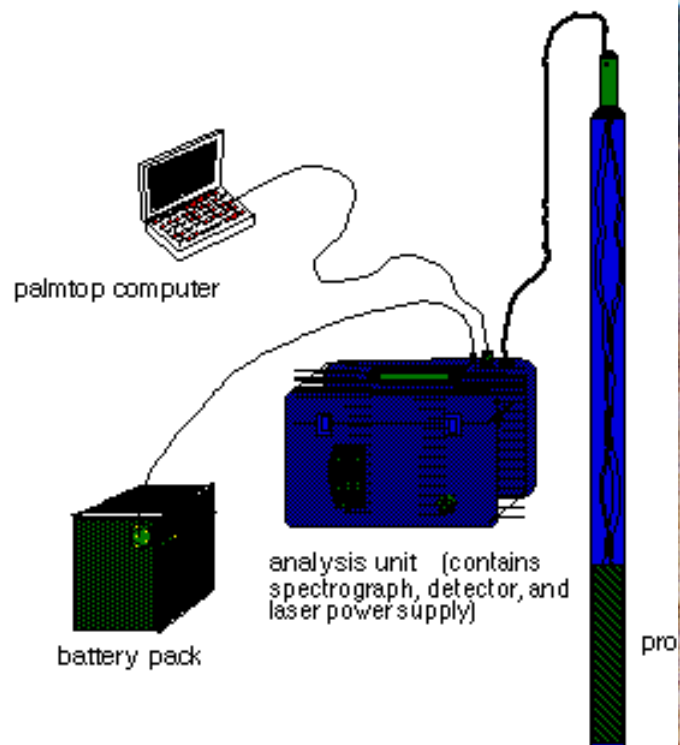
## Limity detekce (kovy v půdě)

Be 10 ppm

Ba 320 ppm

Pb 156 ppm

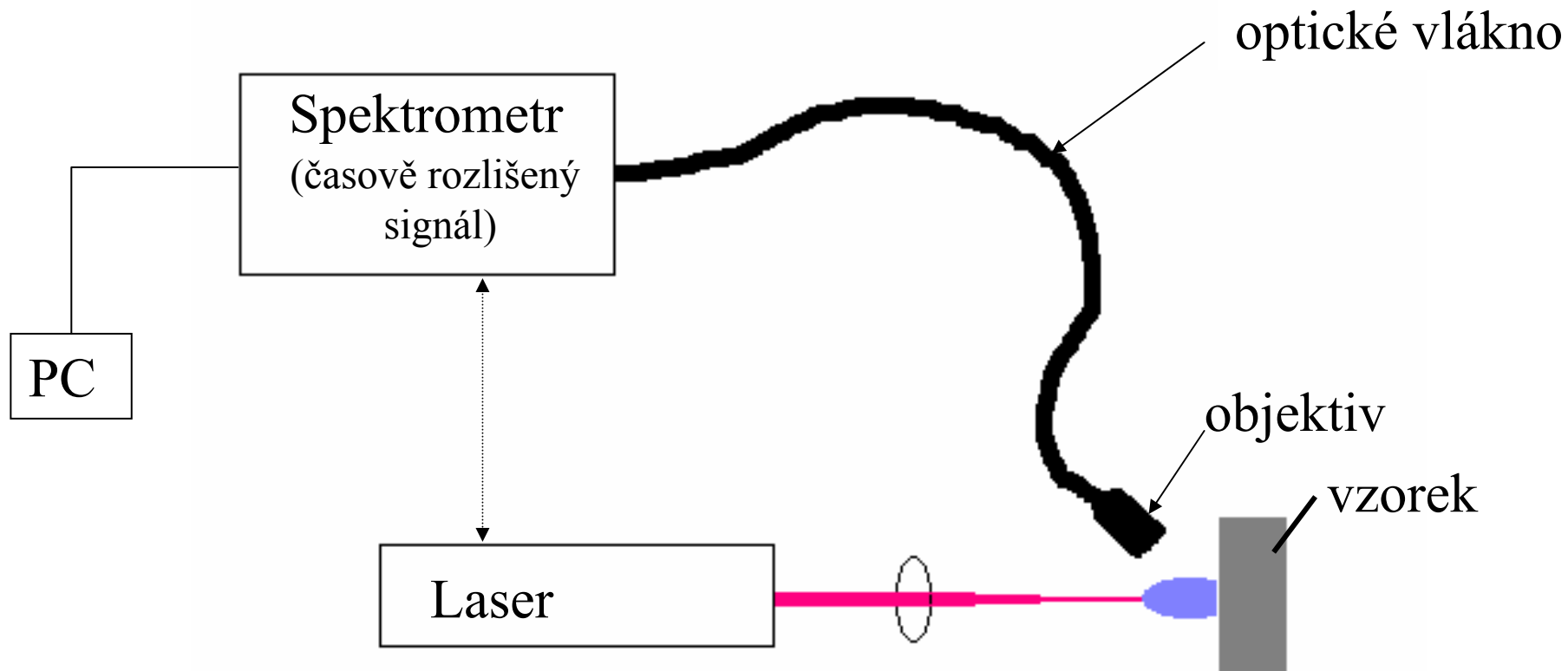
Cr 85 ppm



## Detektor min

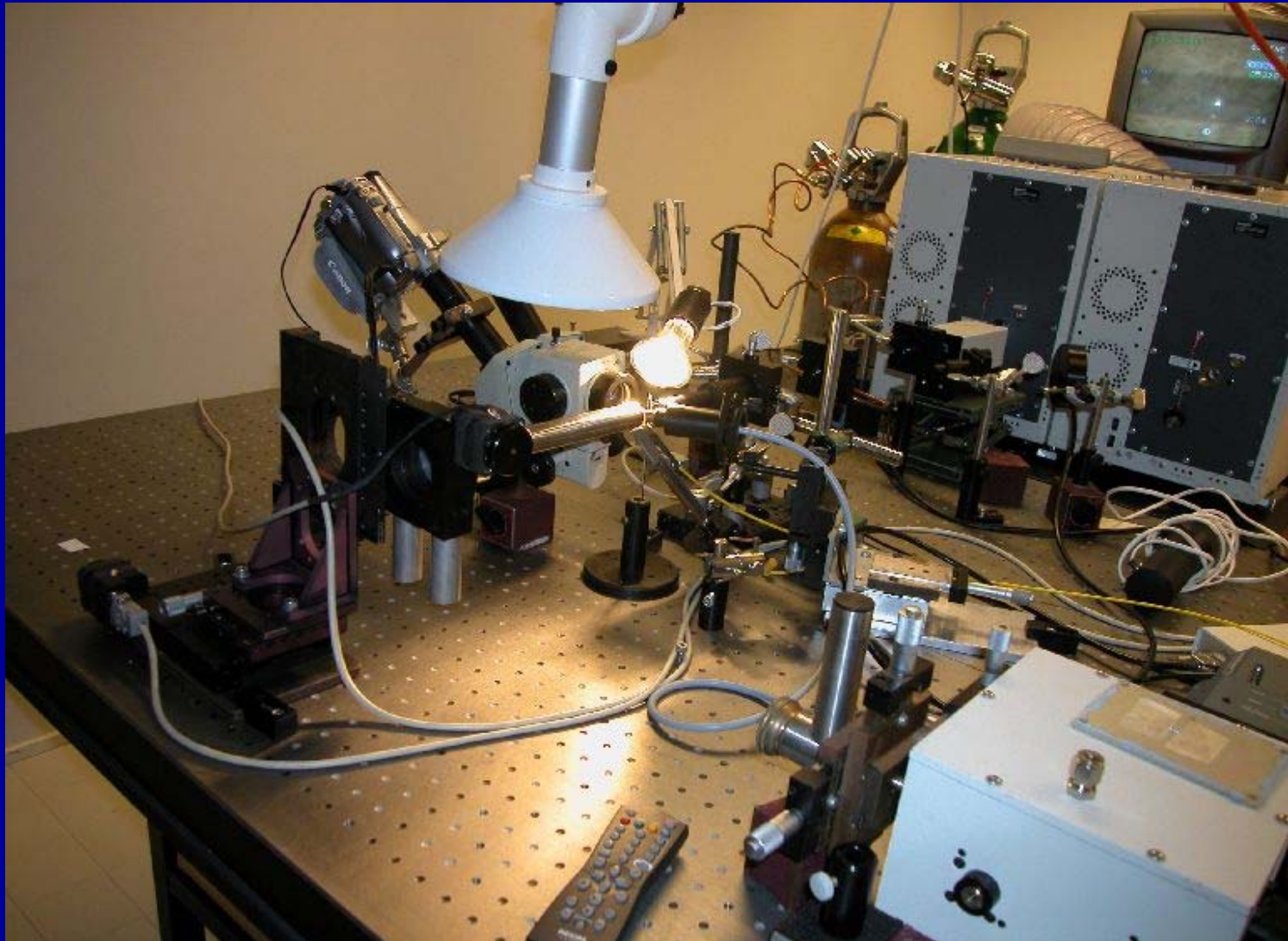


# Detekce s využitím optického vlákna

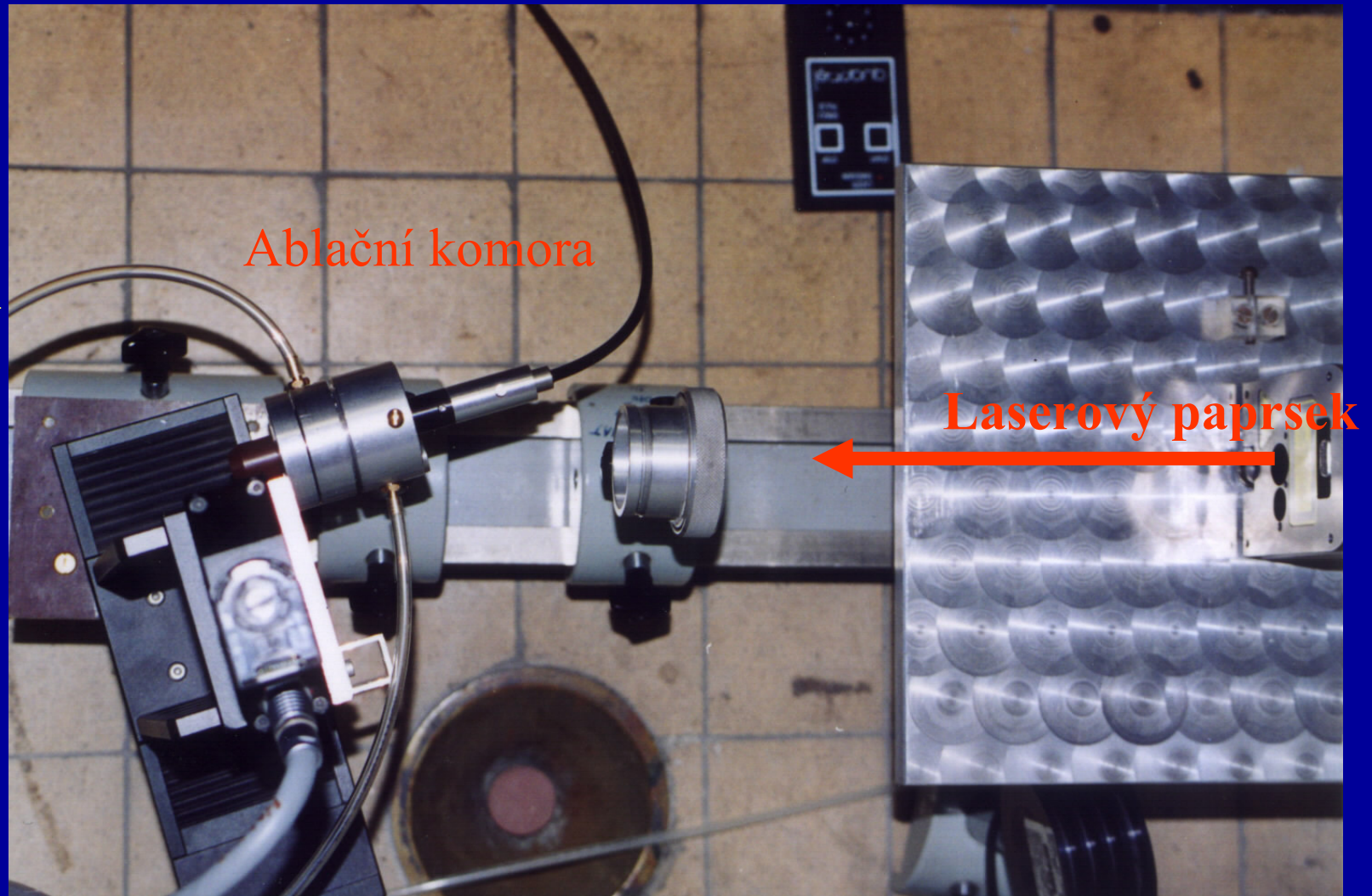




# Detekce s využitím optického vlákna



# Detekce s využitím optického vlákna



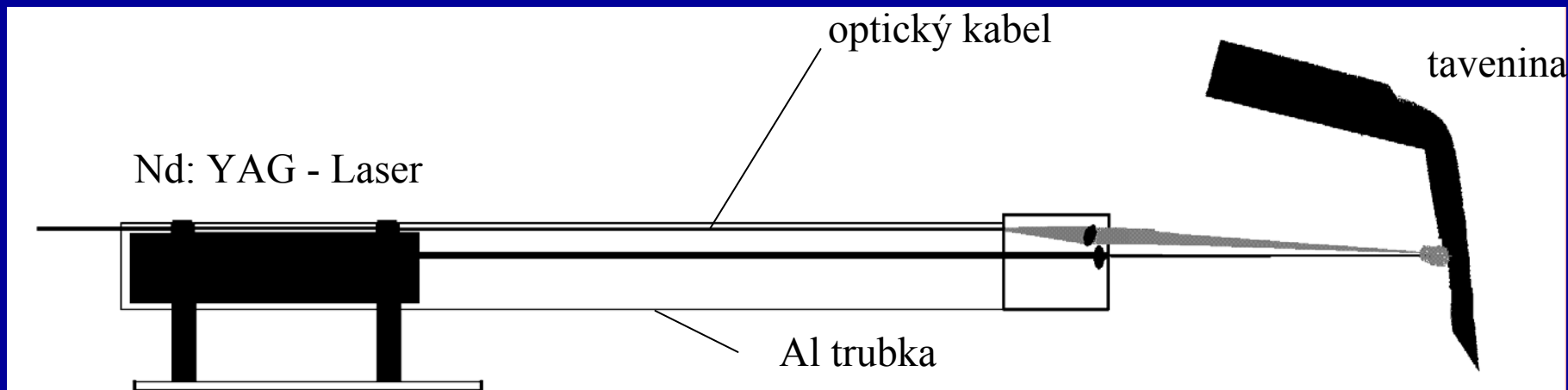
ICP

Ablací komora

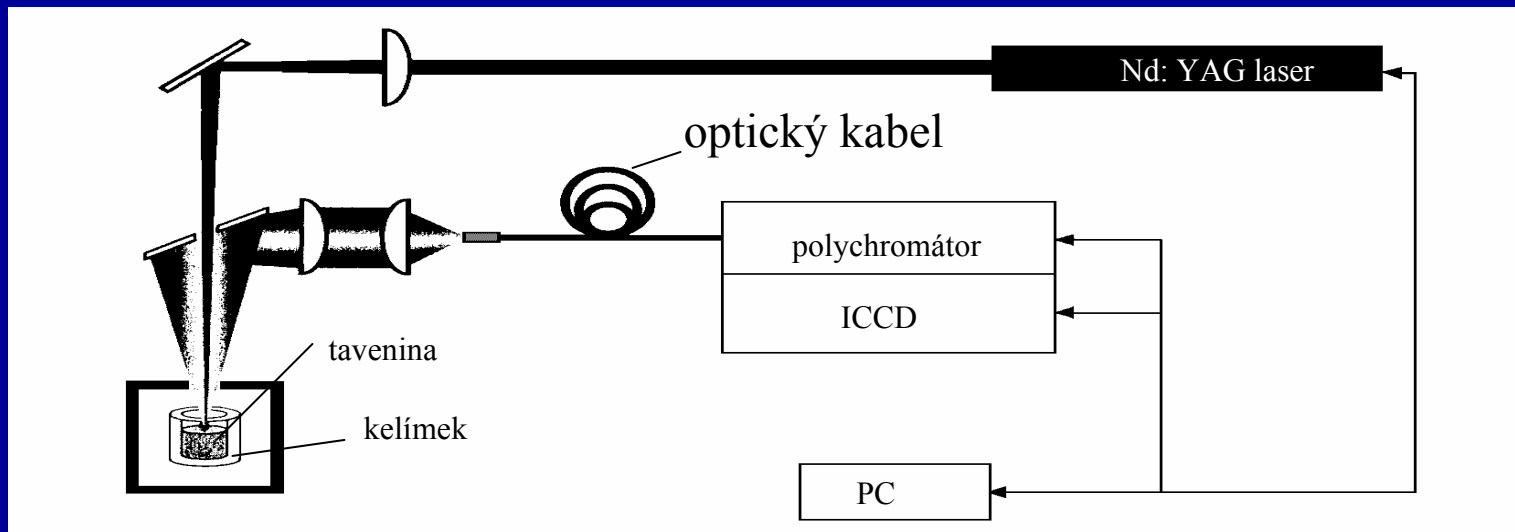
Laserový paprsek

Ar

# Uspořádání pro měření tavenin



U. Panne, R. E. Neuhauser, C. Haisch, Remote Analysis of a Mineral Melt by Laser – Induced Plasma Spectroscopy, Appl. Spectrosc. (2002) 56, (3) 375



J. Yun, R. Klenze, J. Kim, Laser-Induced Breakdown Spectroscopy for the On-Line Multielement Analysis of Highly Radioactive Glass Melt, Appl. Spectrosc. (2002) 56, (4) 437



# Monochromatizace záření

- interferenční filtry - používané zřídka – specializovaná zařízení
  - on line monitoring vybraných prvků  
(kontrola výrobních procesů, surovin, produktů ....  
sledování jednoho nebo několika málo prvků, stejná povaha vzorku)

zobrazení mikroplazmatu přes interferenční filtr

- možnost sledování prostorového rozložení daného prvku v čase
- studium fundamentálních procesů v mikroplazmatu
- optimalizace prostorového uspořádání

- levná jednoduchá konstrukce,  
spojení s fotonásobičem

- spojení s fotodiodou –  
miniaturizace detekčního systému

$\lambda$ (nm)	Element	Filter type	D (mm)	MAX. t (mm)	Half bandwidth (nm)	Minimum transmittance (%)
214.0	Zn	7	ø25	4.0	10.0	12.0
228.0	Cd	7	ø25	4.0	10.0	15.0
232.0	Ni	7	ø25	4.0	10.0	15.0
239.0	Co	7	ø25	4.0	10.0	15.0
253.7	Hg	7	ø25	4.0	10.0	12.0

# Monochromatizace záření

- monochromátory – uspořádání Czerny Turner
- (Jobin Yvon, Oriel, Solar TII ....)

široká nabídka na trhu:

požadavky na rozlišení (mřížka), optická délka

požadavky na rozsah (VUV, alkalické kovy)

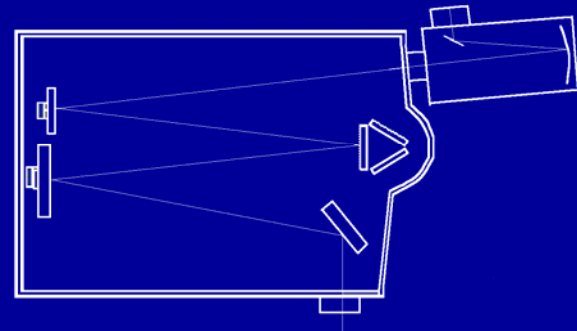
požadavky na cenu

kompatibilita s detektorem (pokud není stejný výrobce)

zpravidla není nutný spektrometr s vysokým rozlišením ( desetiny nanometru)

dvoukanálové – referenční signál

polychromátory (spíše dříve, výjimečně)



při použití s vhodným  
ccd detektorem  
spektrální okno  
cca do 30 nm



# Monochromatizace záření

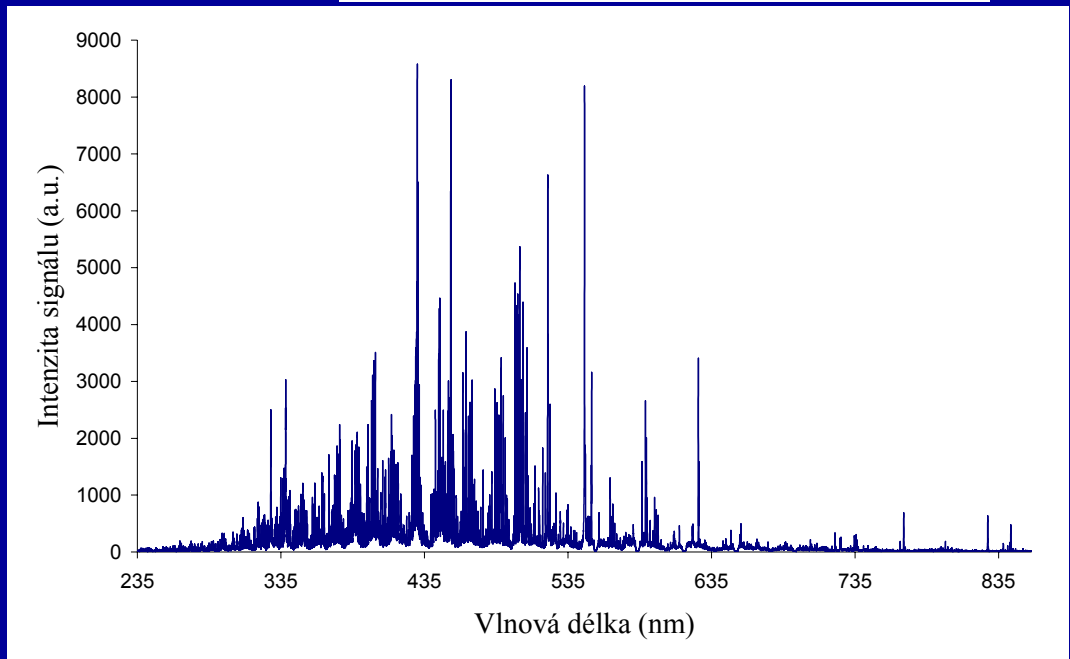
-monochromátory – uspořádání Echelle  
(Andor, Solar TII, ...)

nižší rozlišení než „klasické“ monochromátory  
rozlišení různé v různé části spektra  
možnost snímání spektrálního okna  
s širokým rozmezím (200 – 800 nm)  
nižší citlivost



„double dispersion“

MSDD 1000



# Detektory

- časově rozlišená detekce – synchronizace detektoru s pulsy laseru
- rychlá odezva, široký spektrální rozsah, vysoká citlivost
- rychlé zpracování signálu, možnost akumulace  
(při malých intenzitách má signál charakter šumu)
- sekvenční systémy (fotonásobiče)
- simultání systémy – CCD detektory, ICCD detektory

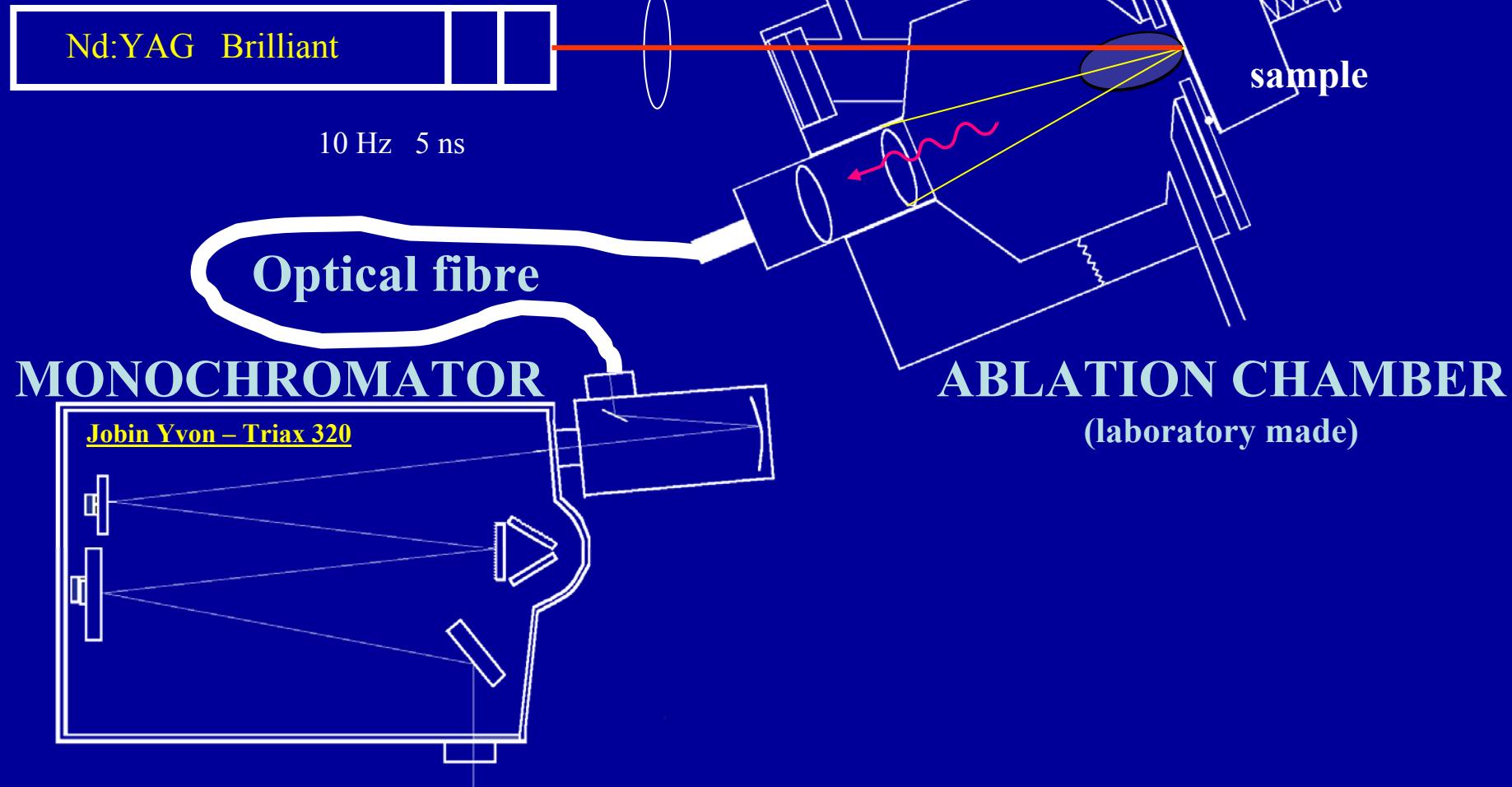
# LASER

1064 nm 266 nm

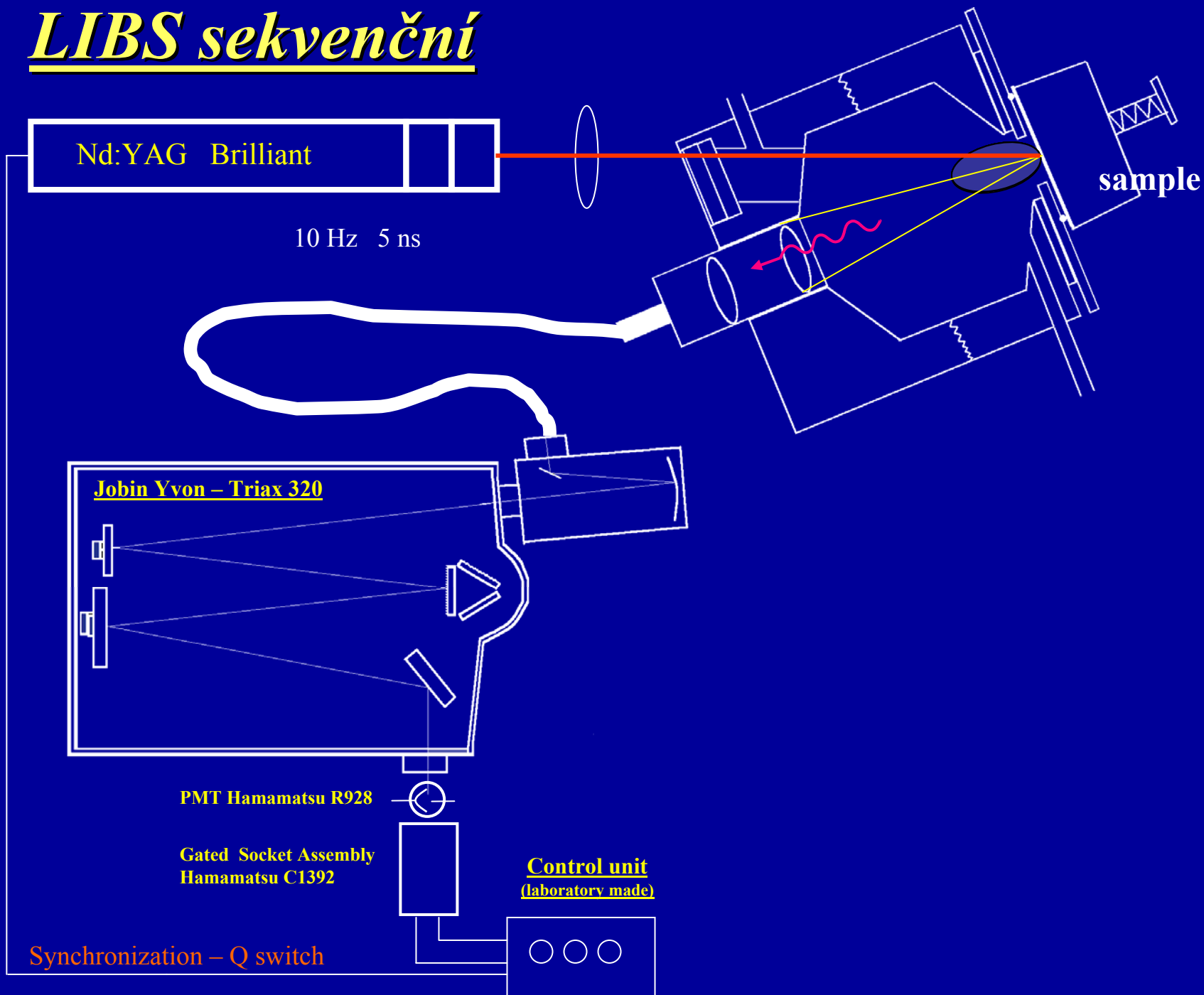
Nd:YAG Brilliant

10 Hz 5 ns

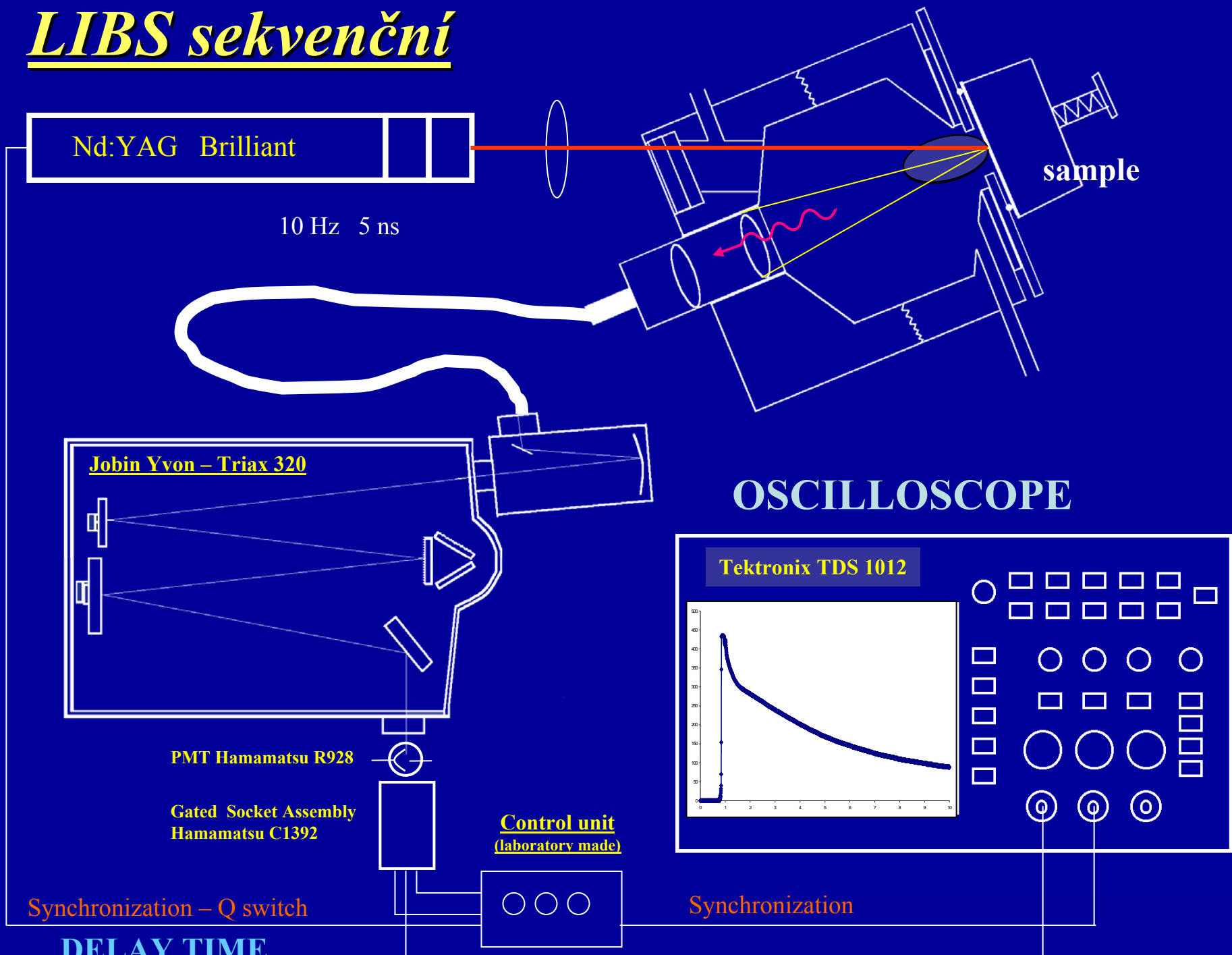
# *LIBS sekvenční*



# LIBS sekvenční

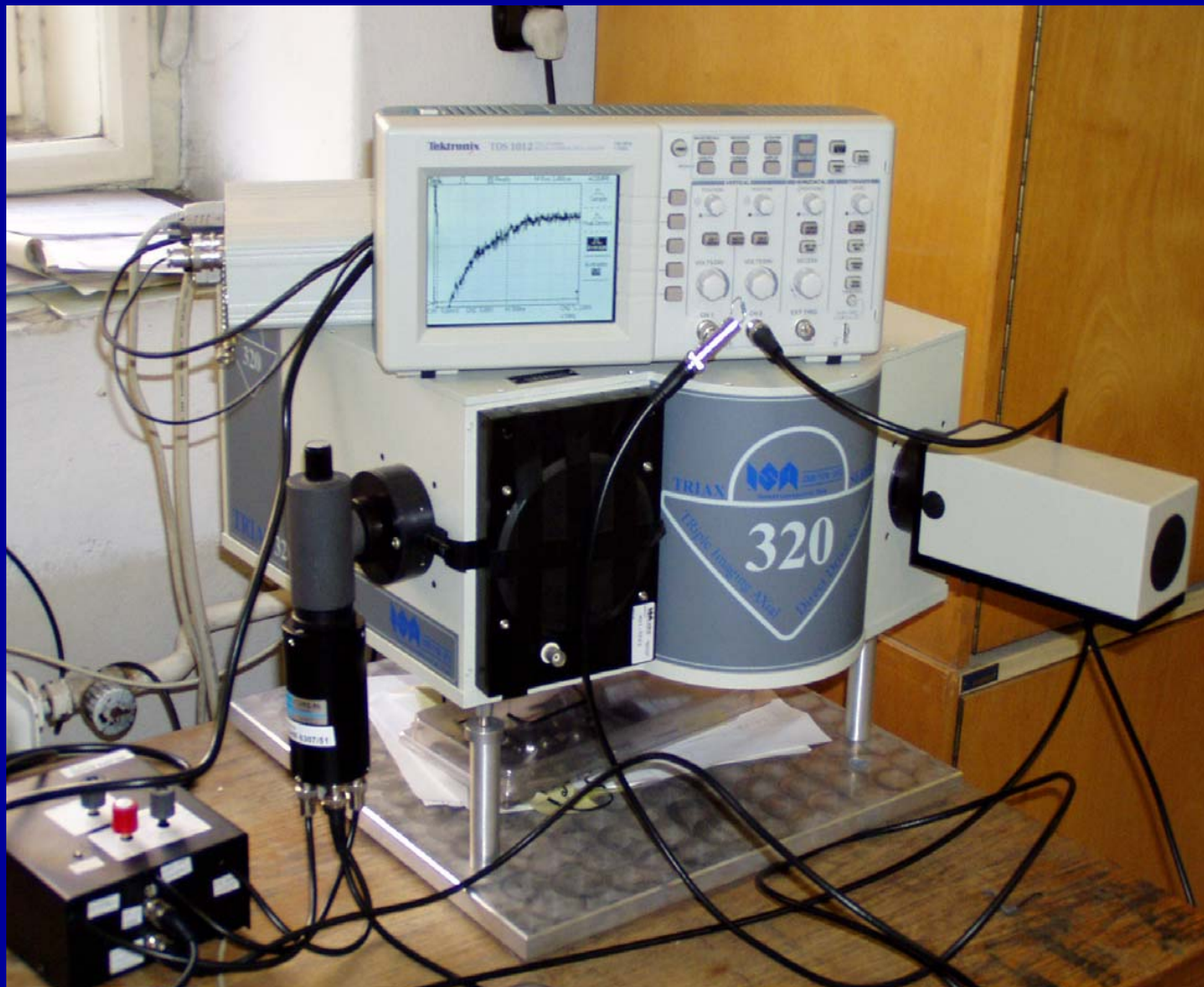


# LIBS sekvenční





**Instrumentace:** Monochromátor TRIAX 320 (Czerny – Turner 320 mm),  
3 mřížky (1200, 2400 a 3600 vrypů/mm), vstupní a výstupní štěrbinu 0-2mm



**Fotonásobič**  
Hamamatsu R928

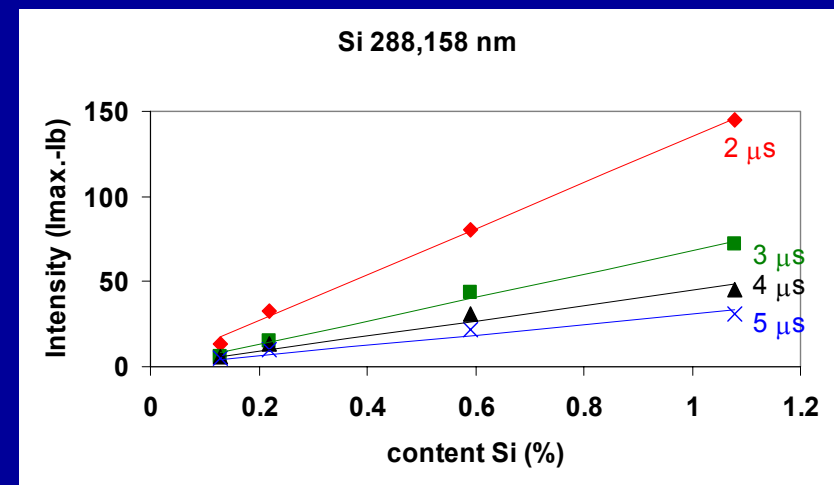
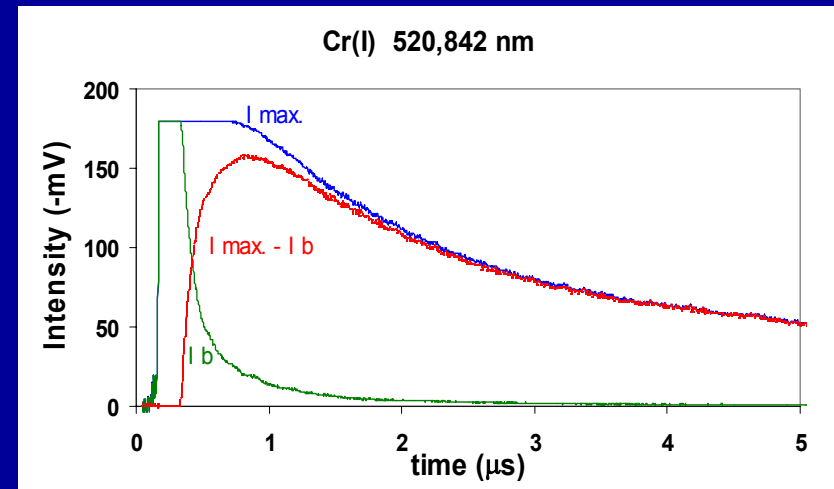
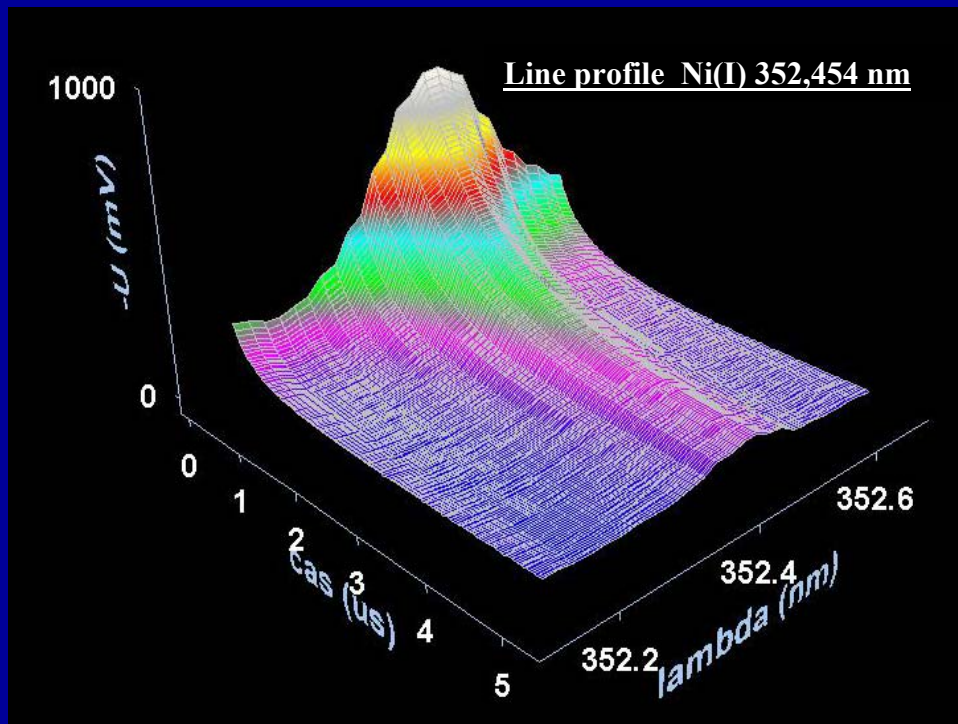
**Klíčovací patice**  
C1392 – 56 (off-typ)

**Přídavná elektronika**  
řízení fotonásobiče  
impulsem Q – switch  
délka okna 5 až 25  $\mu$ s  
zpoždění 50 ns - 10  $\mu$ s  
zdroje napětí pro patici  
a fotonásobič

**Osciloskop TDS 1012**  
propojení přes sběrnici  
RS-232C s PC  
software Scope 6.1

# Sekvenční měření

„jednokanálové“ - časový průběh  
pro jednu vlnovou délku, jeden pulz



# *LIBS - simultánní*

Nd:YAG Brilliant

10 Hz 5 ns

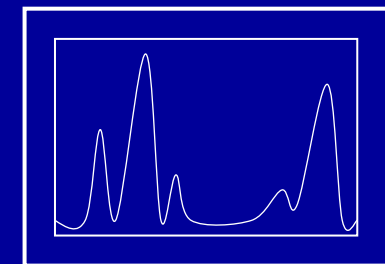
vzorek

Jobin Yvon – Triax 320

ICCD Jobin Yvon Horiba

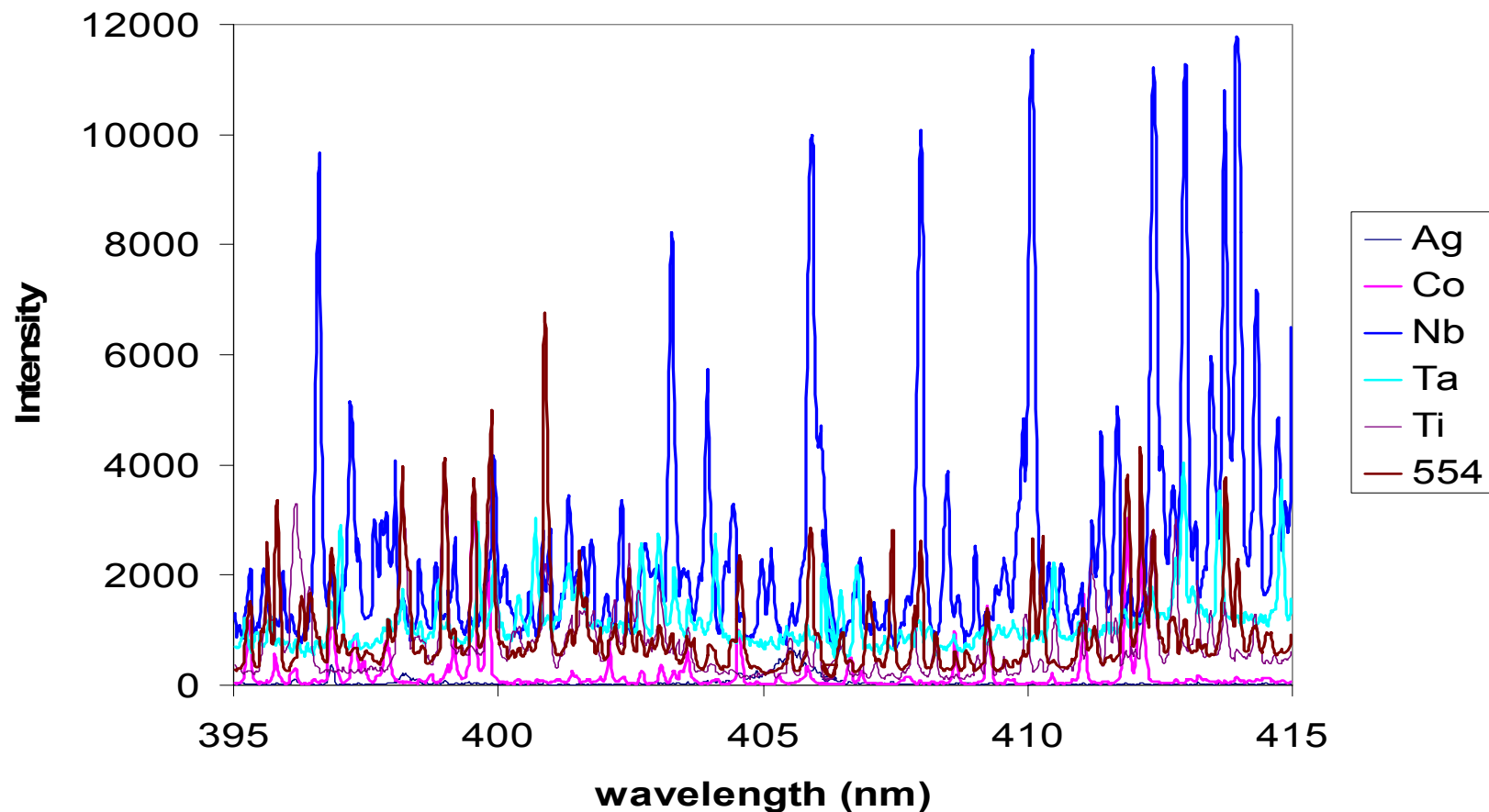
Řízení Xe výbojky

Řízení Q – switch



# Simultánní měření

„vícekanálové“ – spektrum pro  
dané časové okno, jeden pulz

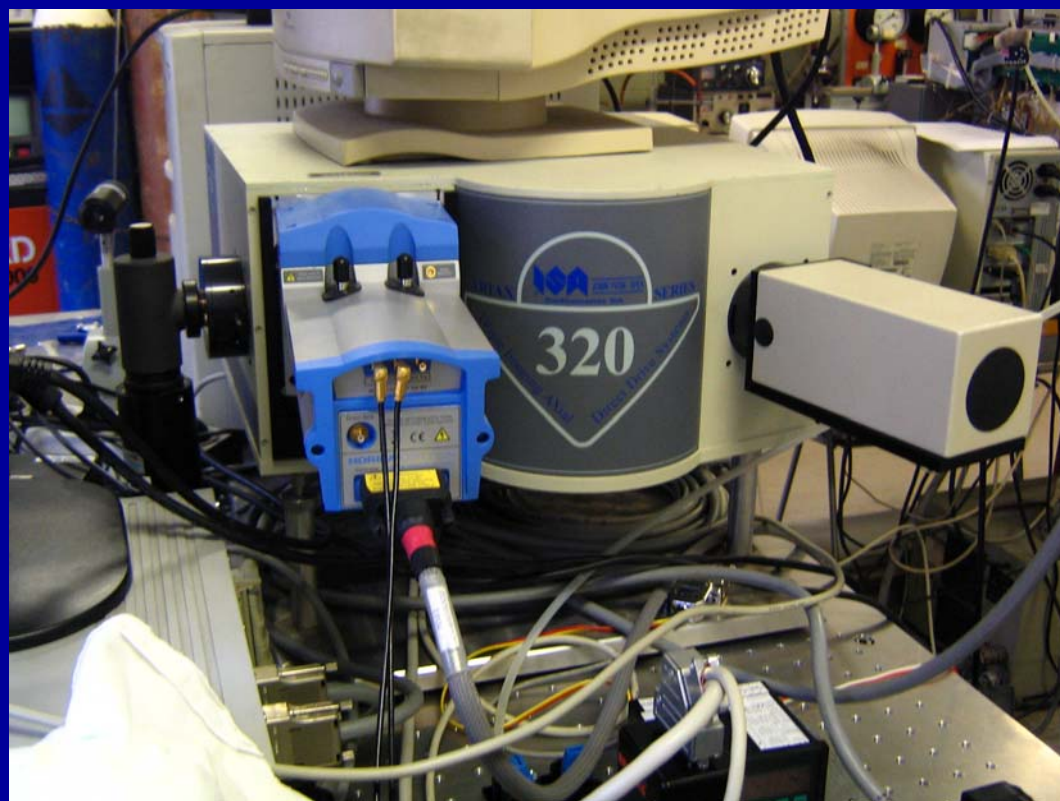




# Optický systém

Monochromátor  
Jobin Yvon Triax 320

Optické vlákno



## sekvenční

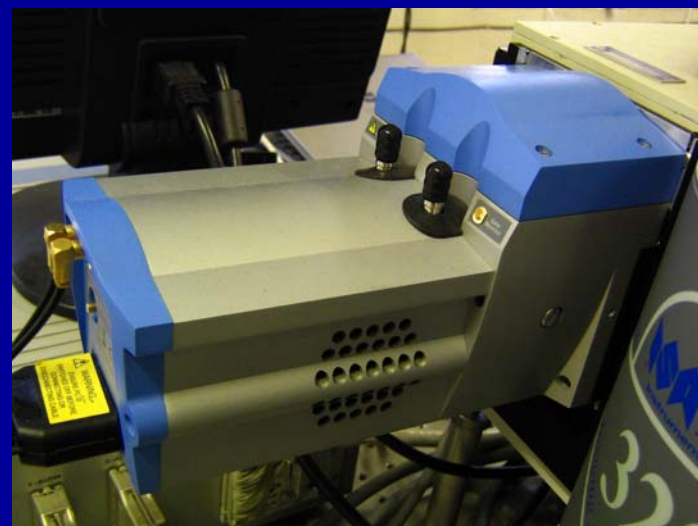
# fotonásobič Hamamatsu

# oscilloskop Tekronix (TDS 1012)



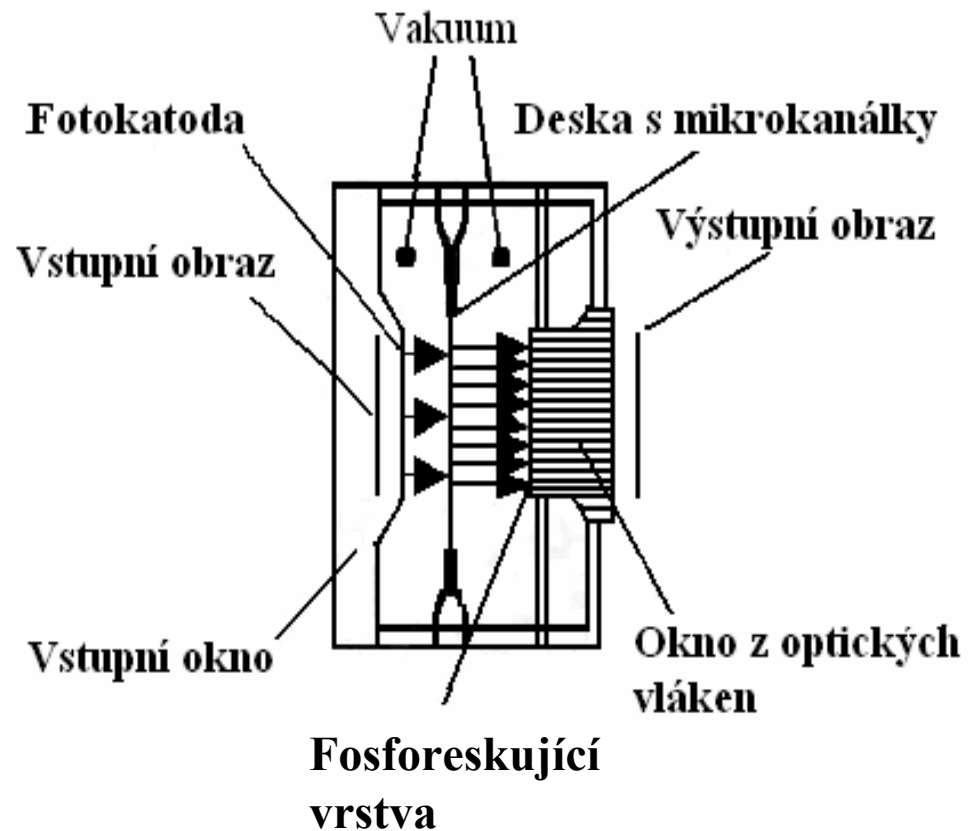
## simultánní

# ICCD Jobin Yvon Horiba

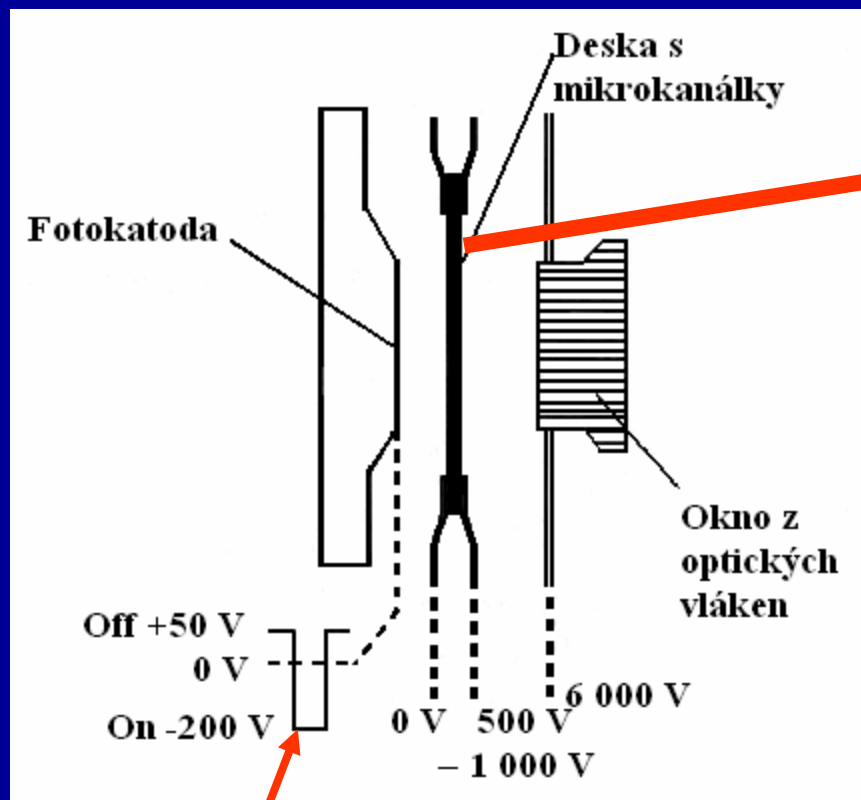


# Intenzifikovaný CCD detektor (ICCD)

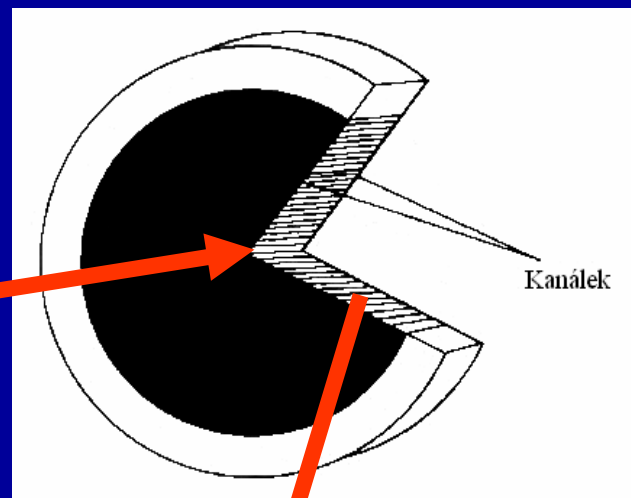
Jobin Yvon Horiba



Andor

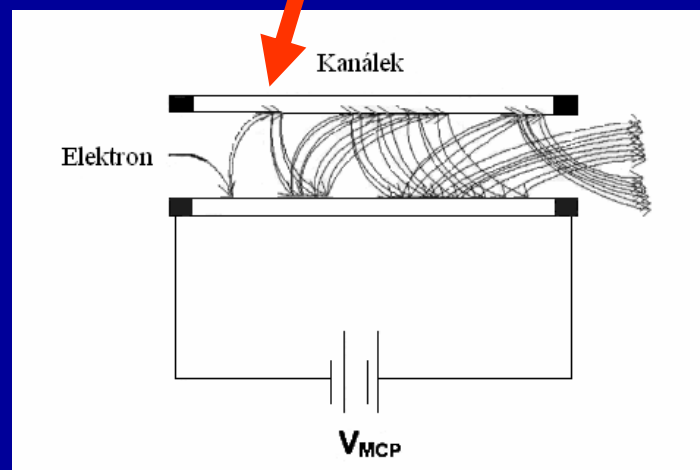


**Minimální časové okno  
5 ns**



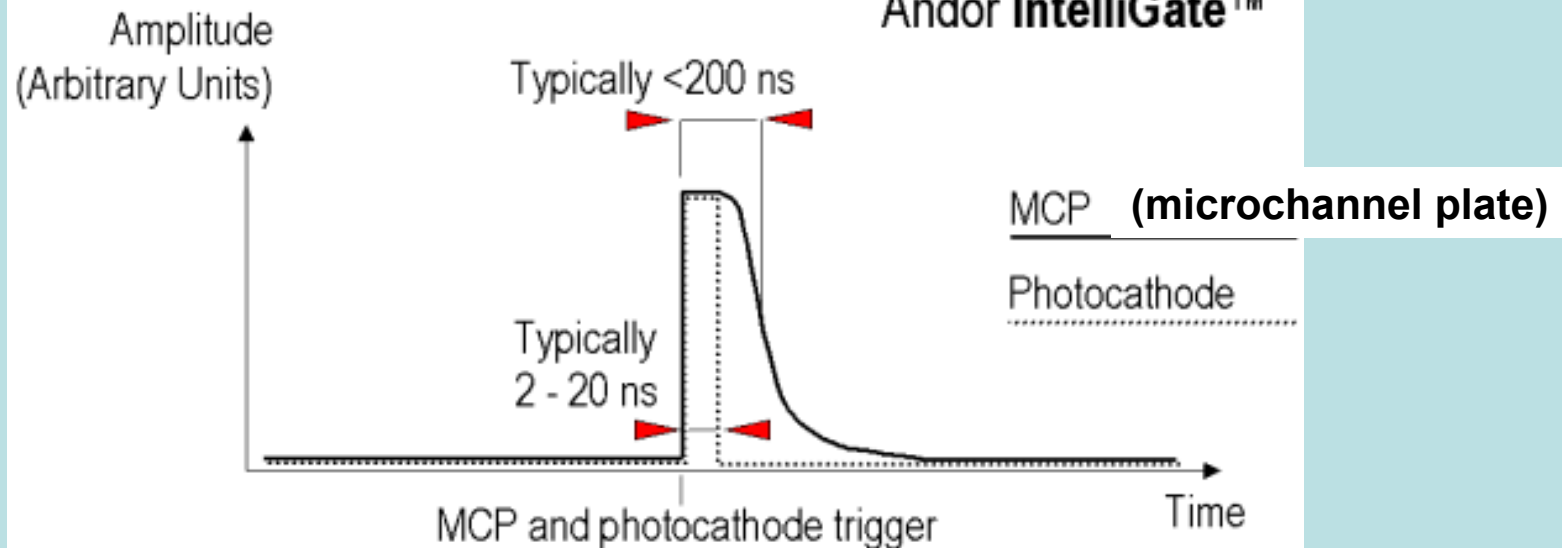
**tloušťka  
cca 1 mm**

**průměr  
cca 10  $\mu\text{m}$**

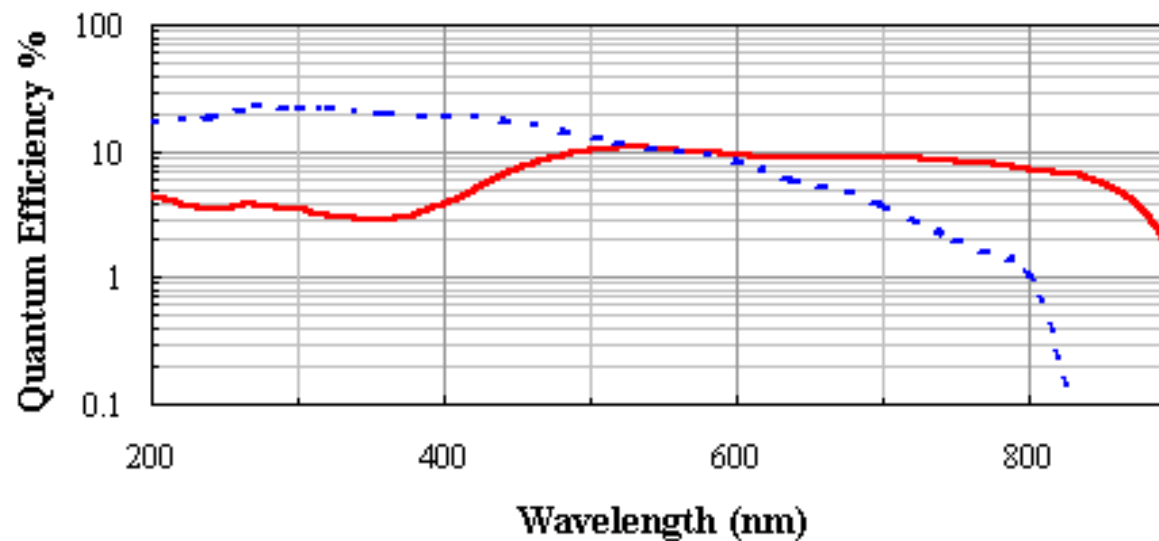


**potenciálový spád 500 až 1000 V  
zesílení až  $10^4$**





### QE of Intensifier Photocathodes

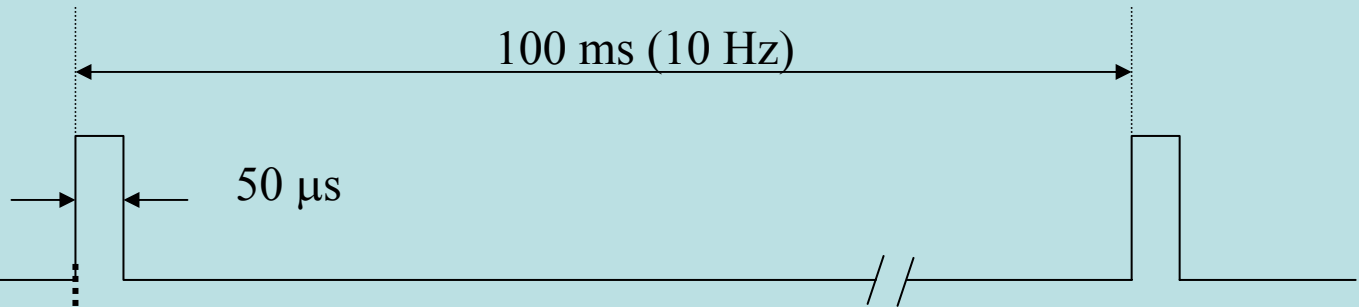


## Režimy řízení

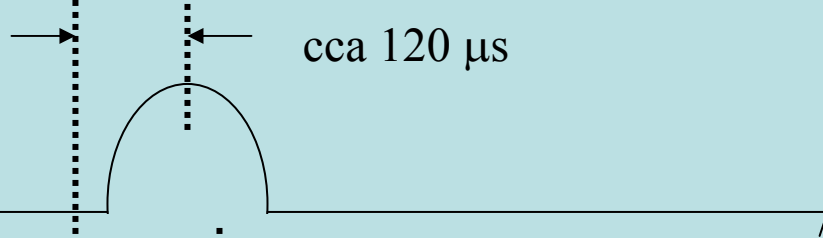
- řízení detektoru přes PCI kartu, software LabSpec (současně ovládá monochromátor Triax 320)
- řízení externím signálem (výstup z laseru)
- řízení laseru detektorem (výbojka, Q-switch)
- vstup pro přímé klíčování (direct gate) – delay generátor

# Časový režim laseru

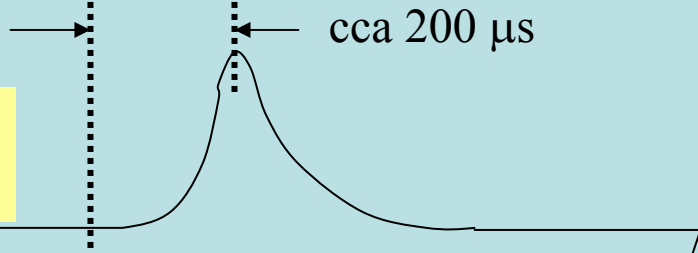
řídící puls -  
Xenonová výbojka



elektrický puls  
Xenonová výbojka



průběh fluorescence  
Neodymu



$200 \text{ až } 660 \mu\text{s}$  - umožňuje nastavení energie pulsu

Q - switch  
(spuštění pulsu)



# Časový režim měření

**Q – switch  
(spuštění pulsu)**

$2\ \mu\text{s}$

cca  $35\ \text{ns}$

**Výstupní puls laseru**

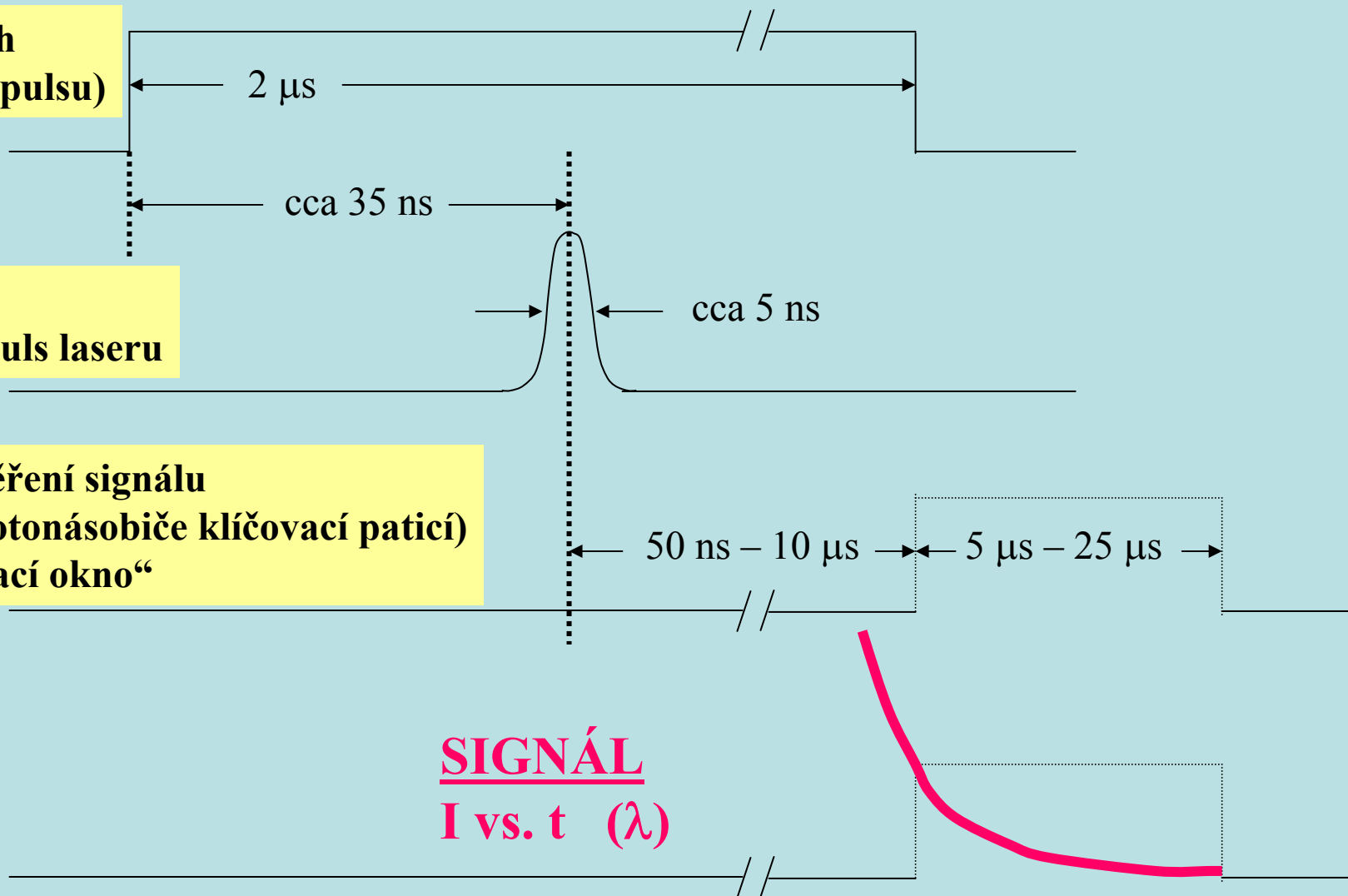
cca  $5\ \text{ns}$

**Vlastní měření signálu  
(zapnutí fotonásobiče klíčovací paticí)  
„vzorkovací okno“**

$50\ \text{ns} - 10\ \mu\text{s}$

$5\ \mu\text{s} - 25\ \mu\text{s}$

**SIGNÁL**  
**I vs. t ( $\lambda$ )**



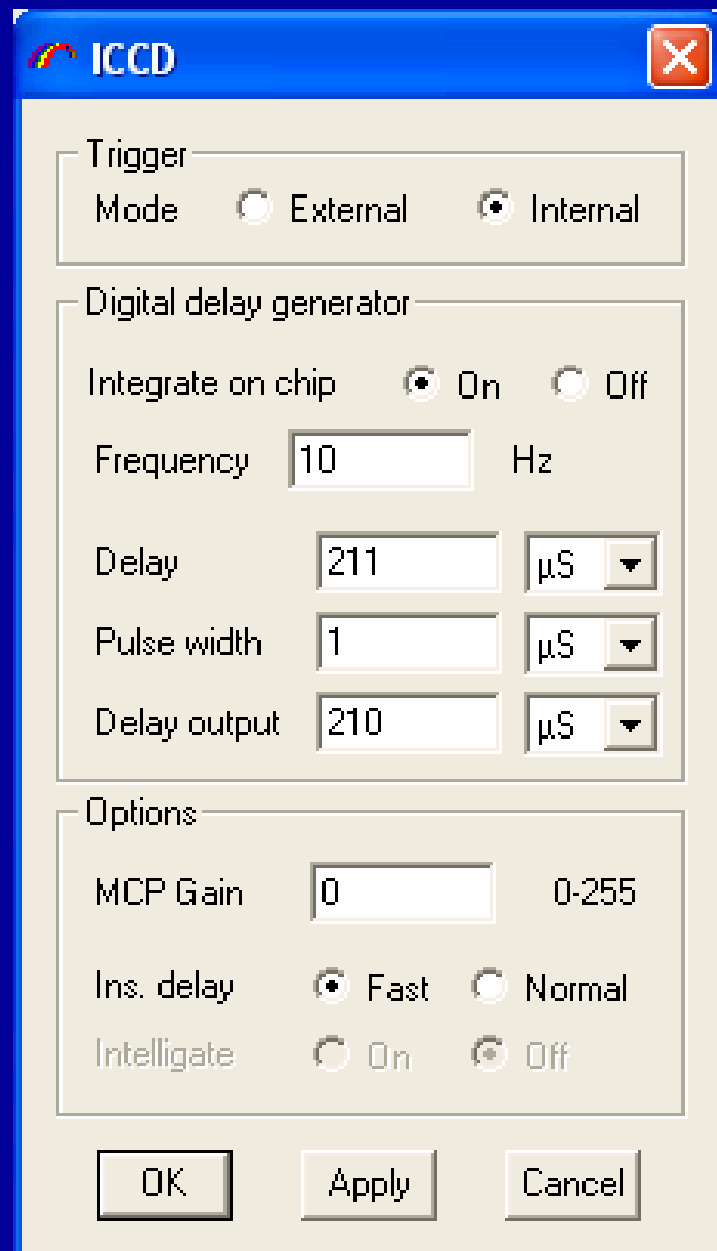
# Nastavení energie laseru a detekčního okna

**Delay output** – zpoždění  
Q-switch po pulsu výbojky

**Delay** – zpoždění detekce  
záření po pulsu výbojky v  
 $\mu\text{s}$

**Pulse width** – detekční okno v  $\mu\text{s}$

**MCP Gain** - zesílení



The screenshot shows the ICCD configuration window with the following settings:

- Trigger:** Mode set to ☒ Internal.
- Digital delay generator:**
  - Integrate on chip: ☒ On, ☐ Off.
  - Frequency: 10 Hz.
  - Delay: 211  $\mu\text{s}$ .
  - Pulse width: 1  $\mu\text{s}$ .
  - Delay output: 210  $\mu\text{s}$ .
- Options:**
  - MCP Gain: 0 (range 0-255).
  - Ins. delay: ☒ Fast, ☐ Normal.
  - Integrate: ☐ On, ☒ Off.

Buttons at the bottom: OK, Apply, Cancel.

## Nastavení detektoru

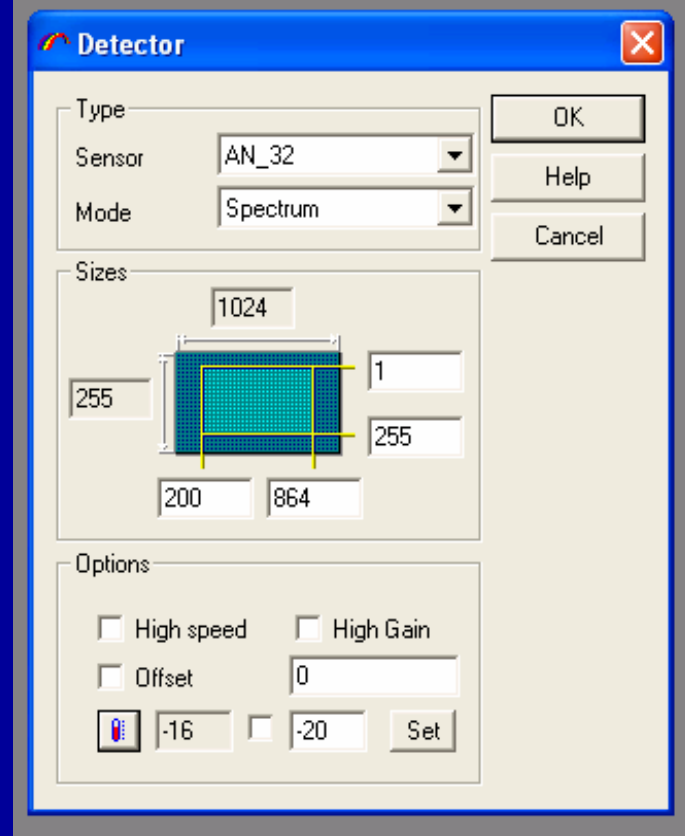
- nastavení aktivní plochy CCD

(menší plocha intenzifikátoru)

- možnost „ořezu“ okrajů

- nastavení teploty

(chlazení – snížení šumu)

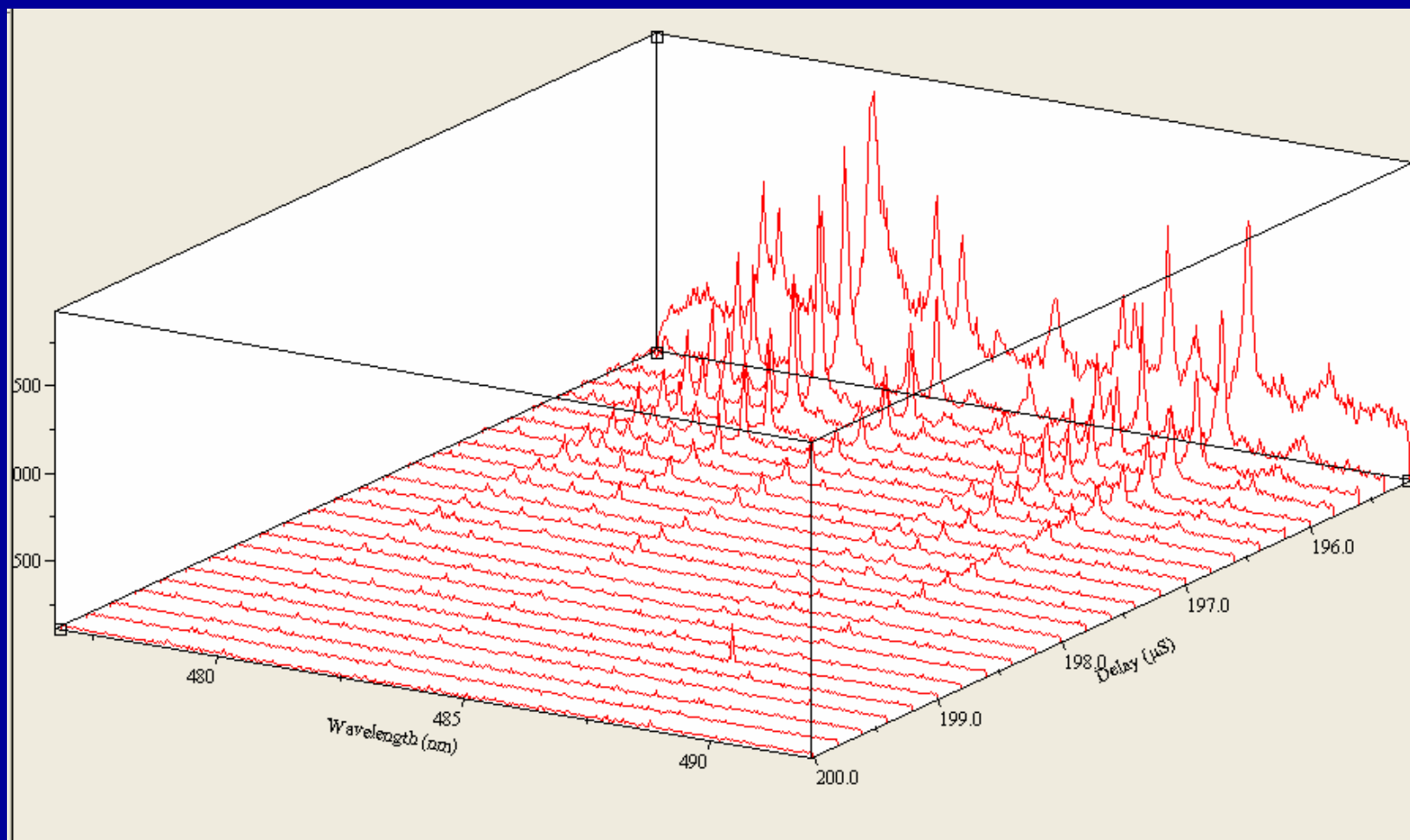


## Nastavení vstupní štěrbinu, vlnové délky a mřížky:



# Vliv zpoždění na signál – keramická dlaždice

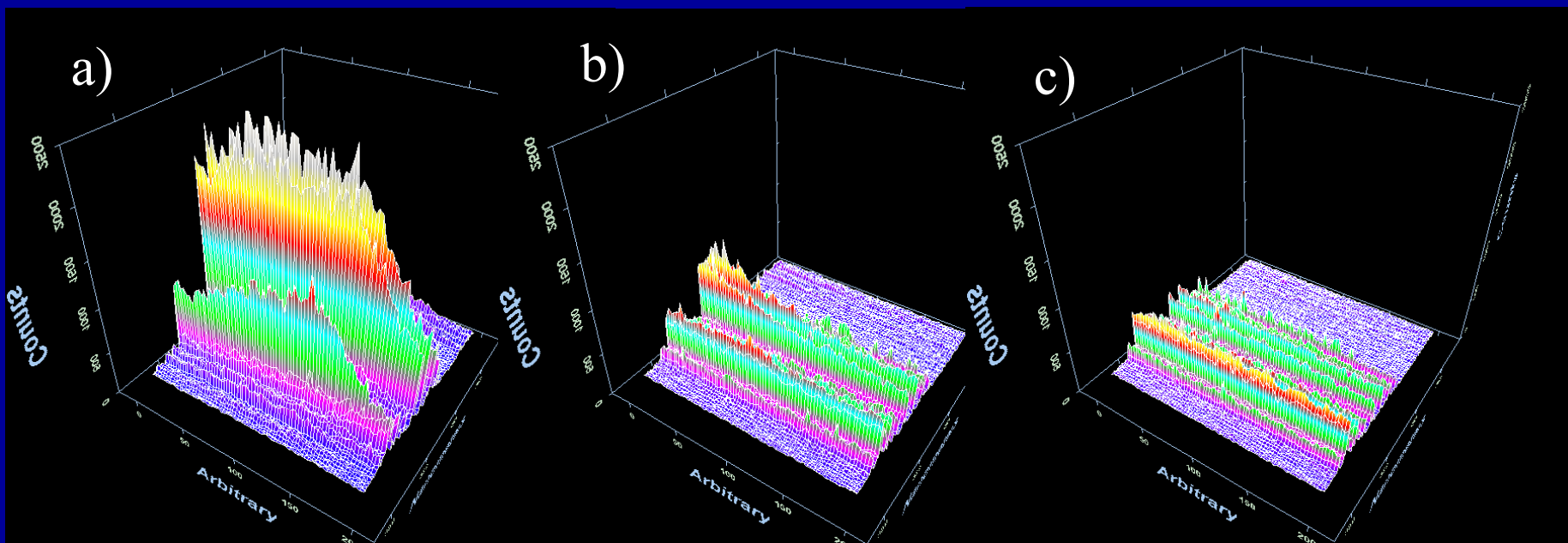
(Delay output 195  $\mu\text{s}$ , pulse width 500 ns)





# Hlubkový profil

keramická dlaždice

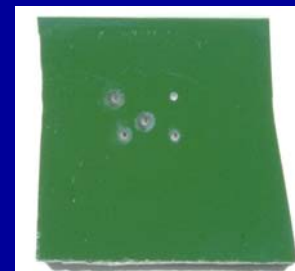


Čáry chromu Cr(I)

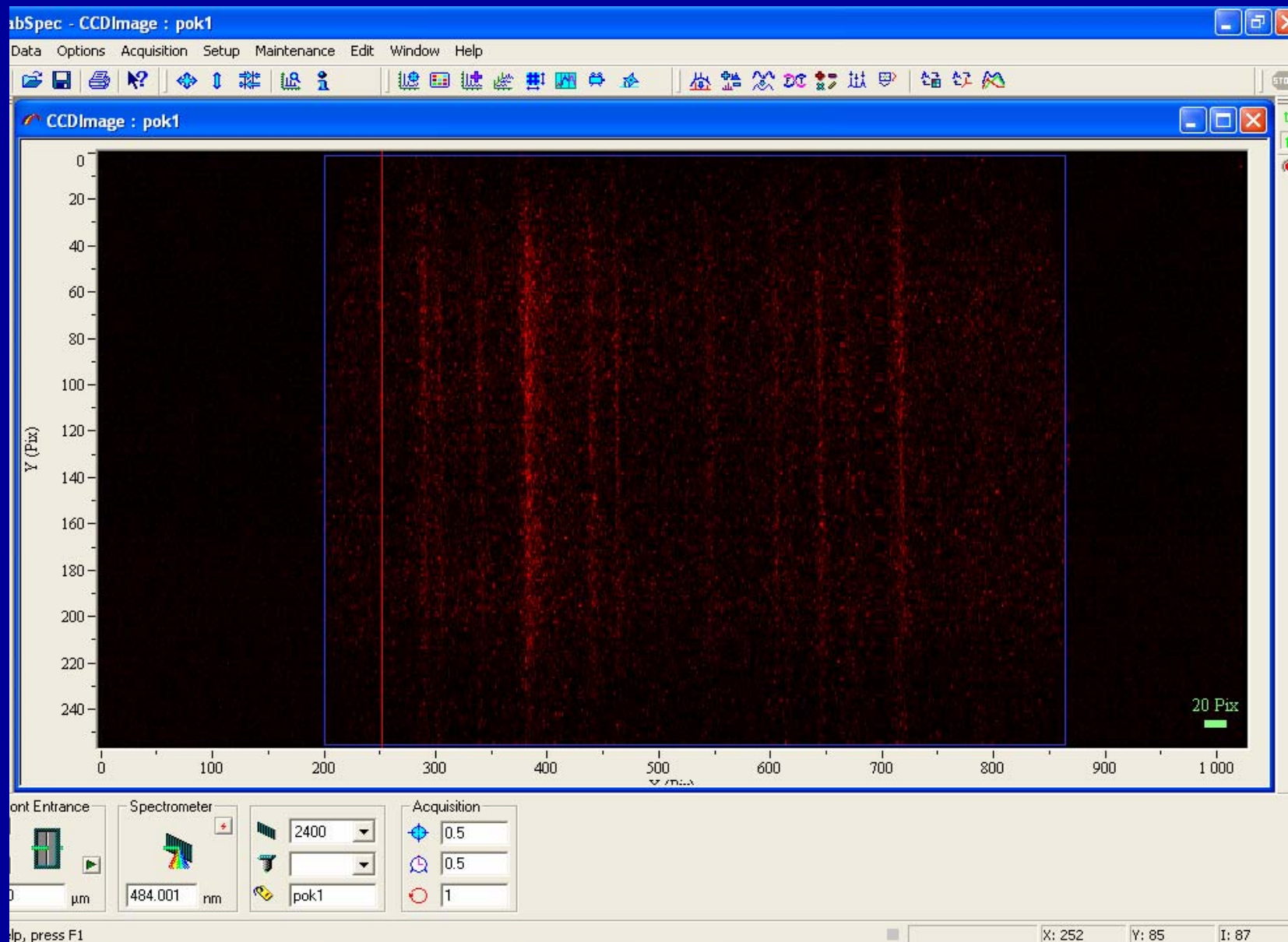
a) 1- 200 pulzů, b) 2001-400 pulzů, c) 401- 600 pulzů

zelená glazura, 6 % Cr v glazuře, 0 % Cr v substrátu

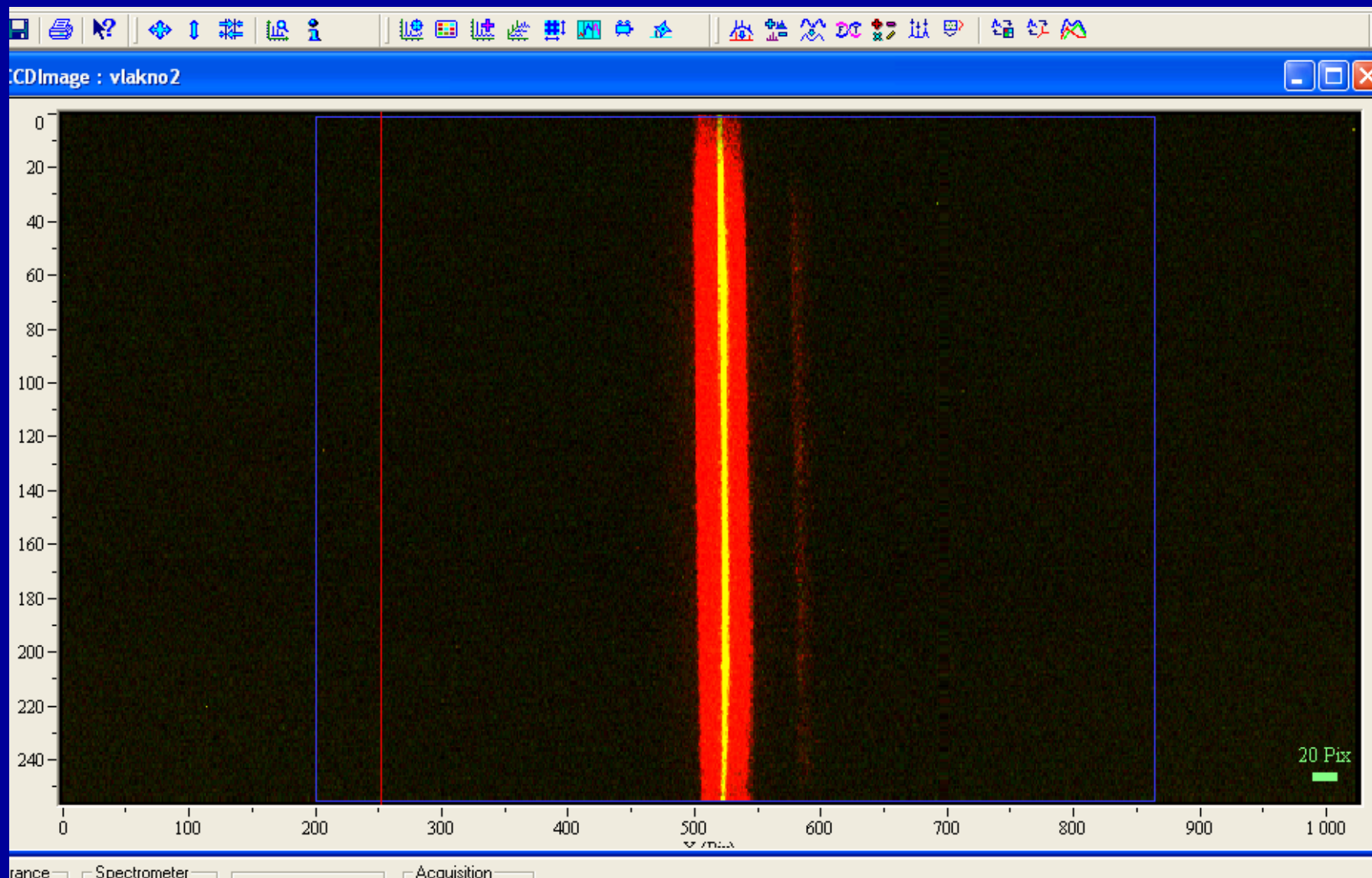
IR 1064 nm, 60 mJ, tloušťka glazury 100-150  $\mu\text{m}$



# Příklad obrazu spektra, možnost „ořezu“ (snížení šumu z neosvětlených okrajů detektoru)



# Obraz optického vlákna při nastavení nulového řádu (šířka vstupní šterbiny 2 a 0,1 mm)



## Možnosti využití ICCD detektoru pro detekci časově proměnných signálů:

- možnost akumulace nebo průměrování více pulzů při stejných podmínkách
- sledování změny signálu v čase (hloubkové profily)
- sledování změny signálu v závislosti na podmínkách měření (zpoždění, délka časového okna, šířka štěrbiny .....)
- snímání 2D obrazu CCD detektorem při daných podmínkách
- možnost použití snímání prostorového obrazu mikroplazmatu při nastavení mřížky na nulový řád
- možnost skládání spekter do 3D grafů

# Spectrolaser 1000HR

Hloubka: 38cm  
Délka: 72cm  
Výška: 30cm  
Váha: 25kg  
Laser: Nd:YAG 1064nm

Optika: 4 Czerny-Turner Spektrografy  
Detektory: 4 CCD (simultánní režim)  
Rozsah: 180 - 930nm  
Rozlišení: ~ 0.15nm  
Doba Analýzy: 20 s





# PharmaLIBS™ 250



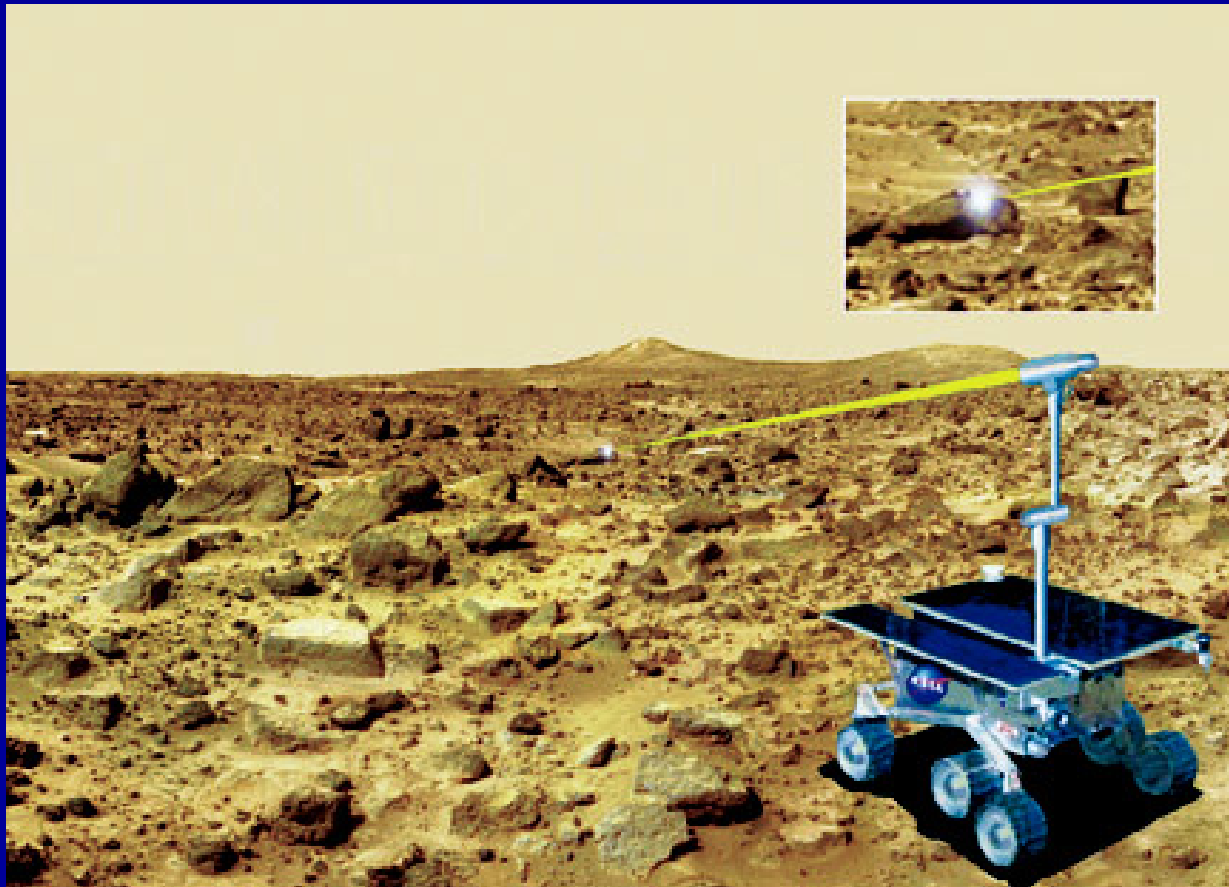
# Los Alamos National Laboratory

kontrola nožů na bobech: Zimní Olympijské Hry v Salt Lake City 2002





# NASA - vývoj marsovského vozítka vybaveného LIBS analyzátorom



# V současné době aktuální a rozvíjející se technika:

pokrok ve vývoji laserů (spolehlivost, cena, velikost)

relativně jednoduchá instrumentace (kompaktní přenosná zařízení)

in-situ a on-line monitoring (sondy s optickými vlákny)

měření „na dálku“ (remote monitoring)

aplikace na širokou škálu materiálů – průmysl, životní prostředí, medicína ...

vývoj komerčních přístrojů

výzkum a vývoj nových metod stanovení

Mezinárodní konference

LIBS 2000 (Pisa, Itálie)

EMSLIBS 2001 (Cairo, Egypt)

LIBS 2002 (Orlando, USA)

EMSLIBS 2003 (Hersonissos, Kréta)

LIBS 2004 (Malaga, Španělsko)

EMSLIBS 2005 (Aachen, Německo)

LIBS 2006 (Montreal, Kanada)