



Příprava a využití optických vláken

**Oddělení technologie optických vláken
Ústav Fotoniky a Elektroniky, Akademie věd ČR, v.v.i.**

Jan Mrázek



Obsah



Představení ústavu

Stručná historie optických vláken

Příprava optických vláken

MCVD

Tažení

Využití optických vláken

Vlákna pro telekomunikace

Speciální optická vlákna

Vlákna pro senzory



Členění ústavu

Celkem 140 zaměstnanců, (100 plnoúvazků)
Oddělení optických vláken 6,5 plnoúvazků)



Hlavní budova
Kobylisy

Sekce materiálů
Sekce signálů a systémů
Sekce fotoniky

Oddělení optických vláken

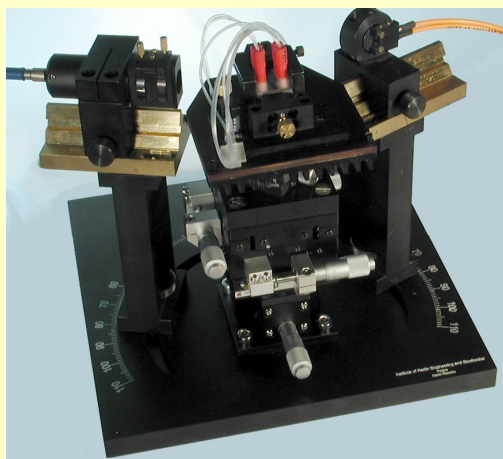


Detašované pracoviště
Suchbát



Vybrané aplikace

SPR senzory



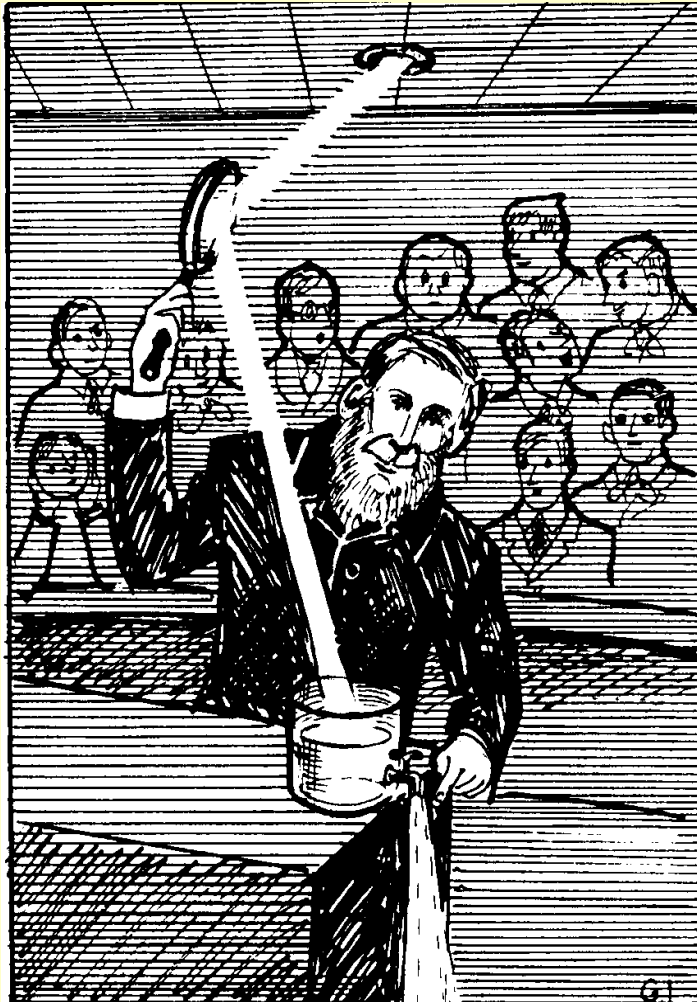
Testovací telekomunikační linka



Etalon přesného času

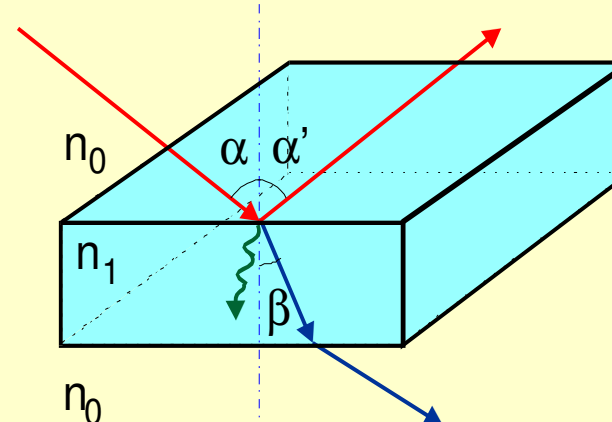


Historie optických vláken



Snellův zákon

Snell Willebrord 1580-1626



$$\alpha = \alpha'$$

$$\frac{n_1}{n_0} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

- Odraz (reflexe \mathcal{R})
- Absorpce \mathcal{A}
- Lom (transmise \mathcal{T})

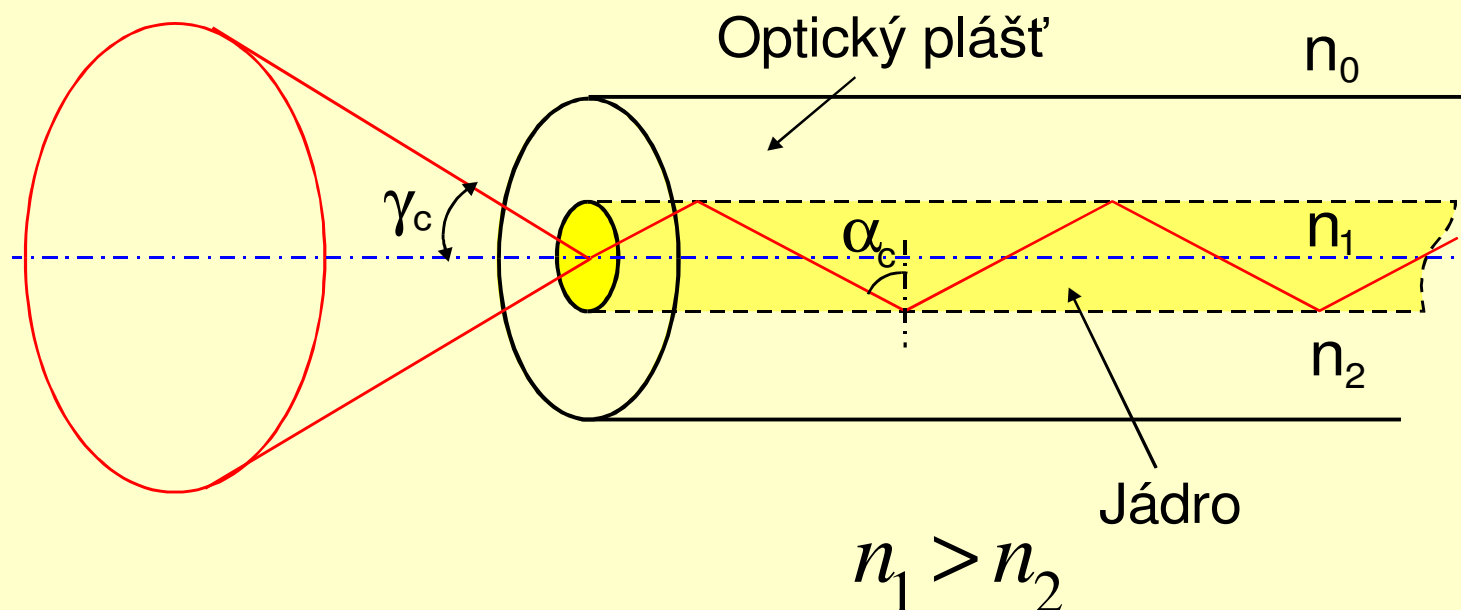
Vlnovodné efekty –**totální odraz**

Polovina 19. století

Tyndall John 1820-1893

Historie optických vláken

Totální odraz na rozhraní jádra a pláště



Holá vlákna

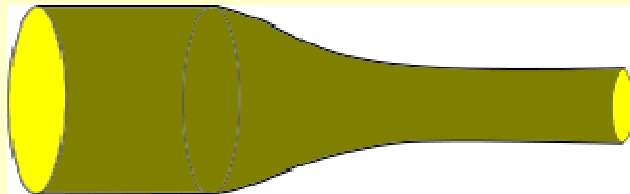
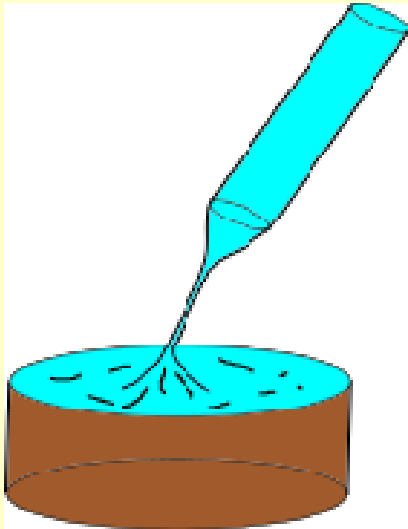
Jádro – n_1 : křemen (PCS), sklo (PCG)
Optický plášť – n_2 : polymer, sklo
Polymer Clad Silica, Polymer Clad Glass



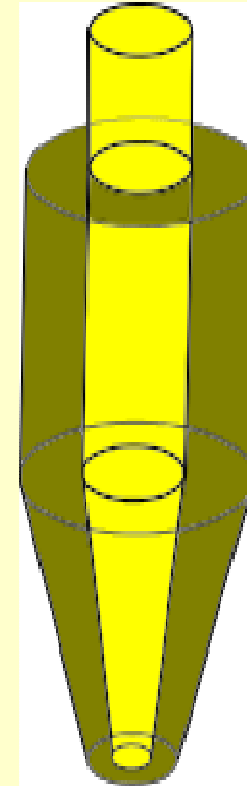
Historie optických vláken

Metody přípravy

Tažení z kelímku, elongace



Metoda „trubka v trubce“

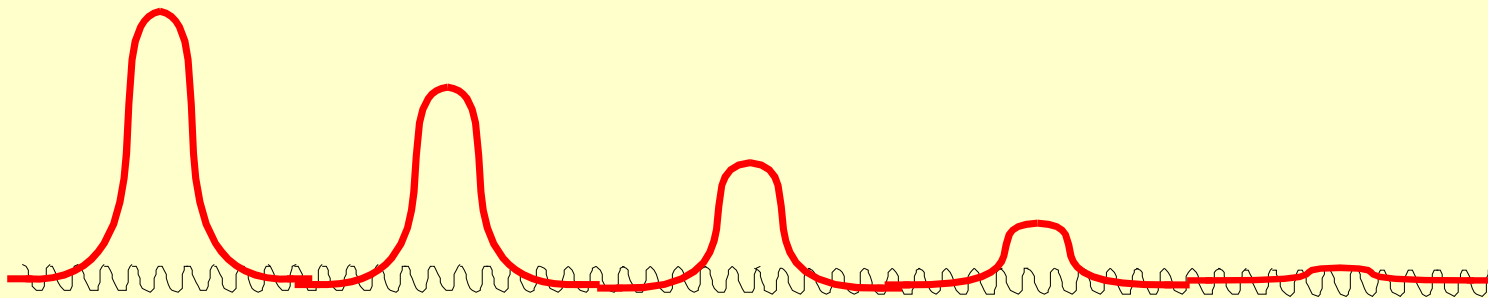


Historie optických vláken

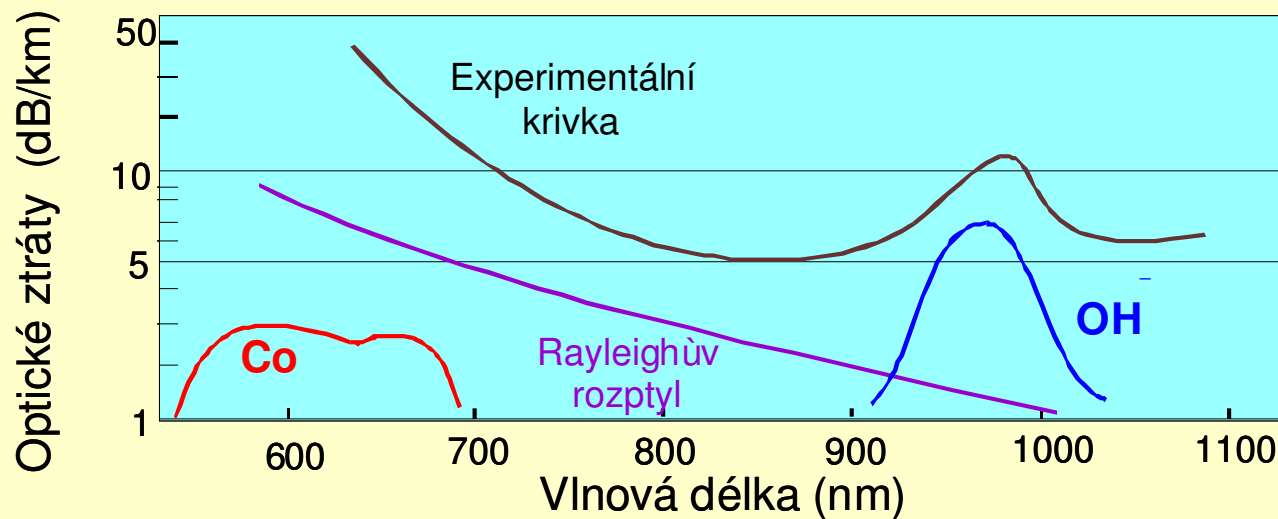
Polymer Clad Glass, Polymer Clad Silica
polymer –sklo, křemen

-osvětlení (světlovody), přenos signálu

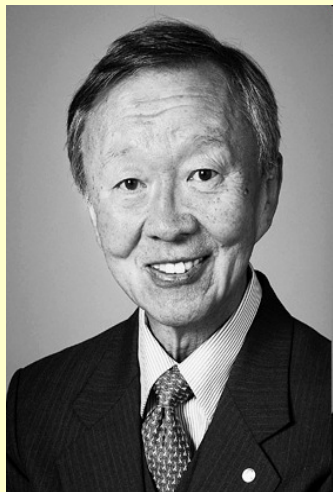
Rozvoj 60. léta 20. století telekomunikace, elektronika
standardní průměr 125 μm
-vysoký útlum **10-100 dB/m**



Historie optických vláken



1966



Charles K. Kao

**1/2 Nobelovy ceny
2009**

**velmi čisté materiály
FO Optipur
obsah nečistot v řádu
ppb = 10^{-9}**

ČISTÉ TECHNOLOGIE

Výroba optických vláken

MCVD - Modified Chemical Vapour Deposition

depozice z plynné fáze

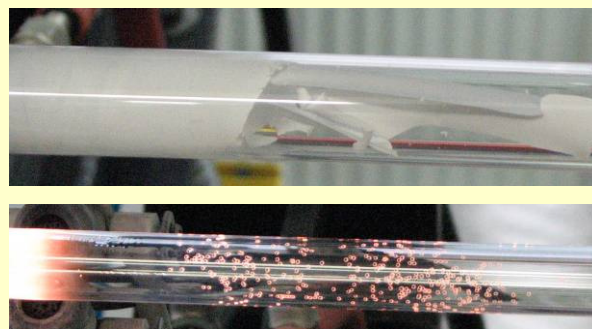
Pyrolytický SiO_2

čistota

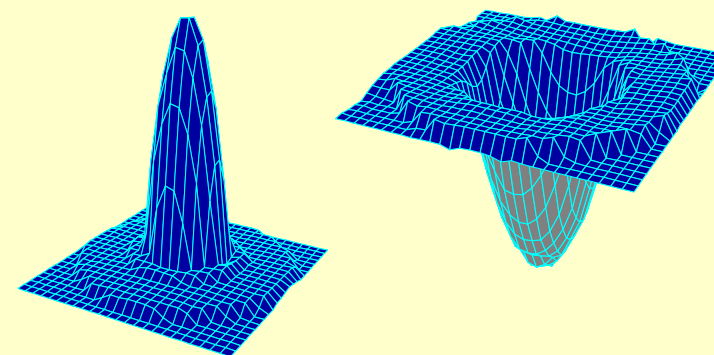


4 ppm Ti^{3+}

homogenita



příprava vrstevnatých struktur (až 20 mm)

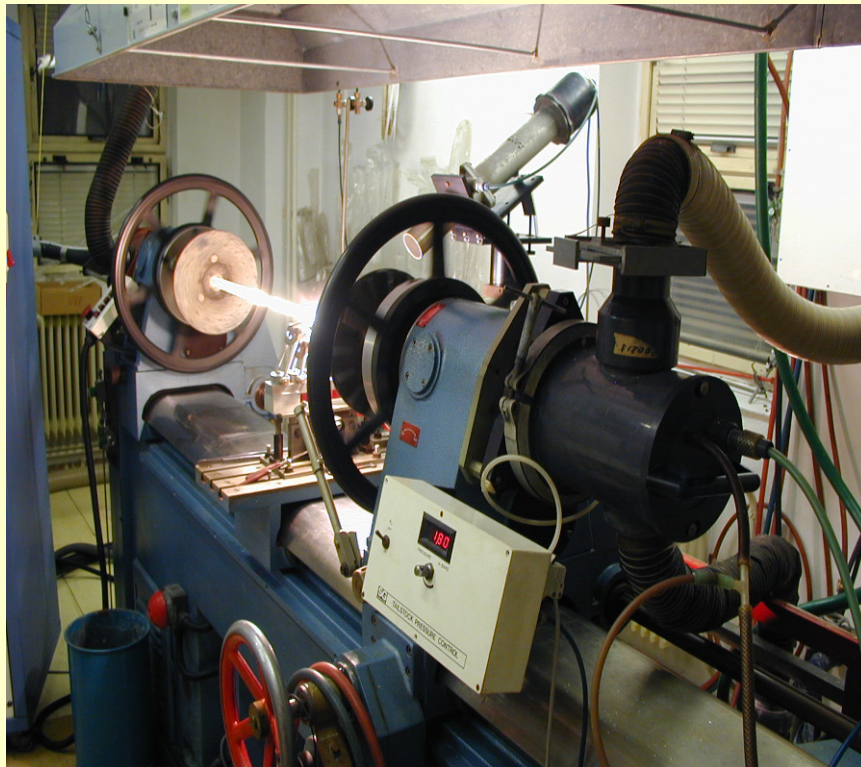


Útlum optických vláken

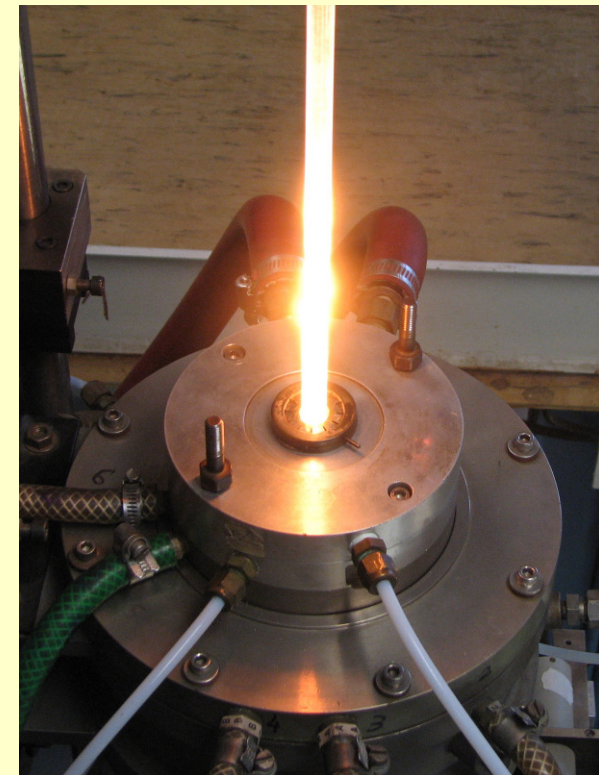
- nejlepší vlákna **0.2 dB/km** ~ po 1 km se ztratí jen 5% výkonu
- 3 mm okenního skla odpovídají cca 2 km optického vlákna

Výroba optických vláken

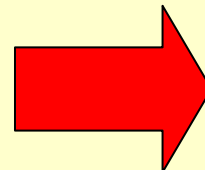
MCVD



Tažení



preforma



MCVD

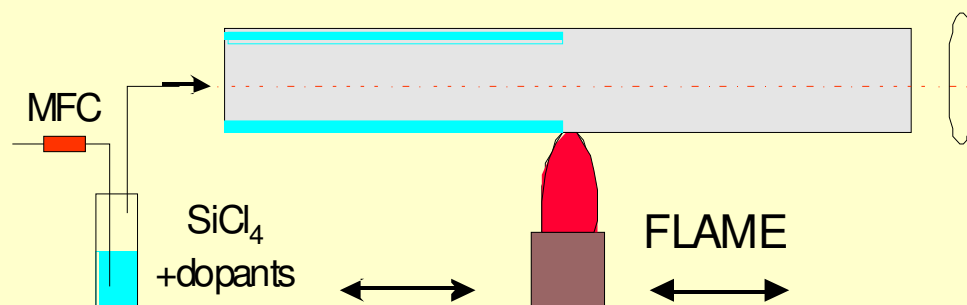
1. Příprava frity

Modified Chemical Vapour Deposition

Substrátová trubice křemenné sklo SiO_2

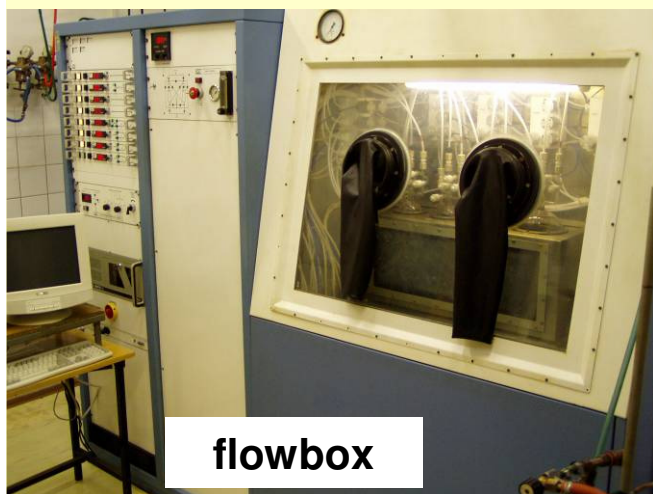
Vstup -směs plynů:

SiCl_4
 $\text{POCl}_3, \text{GeCl}_4$
 BBr_3
 O_2

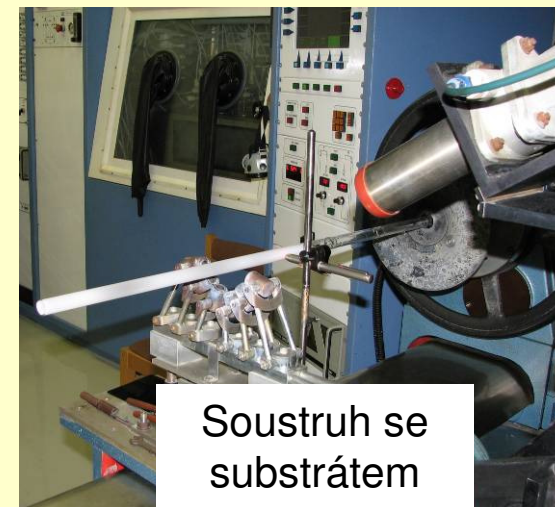


Křemenná frita
tvořená oxidy
prvků

Kyslíkovodíkový
hořák na pojezdu
 $t \sim 800-1300^\circ\text{C}$



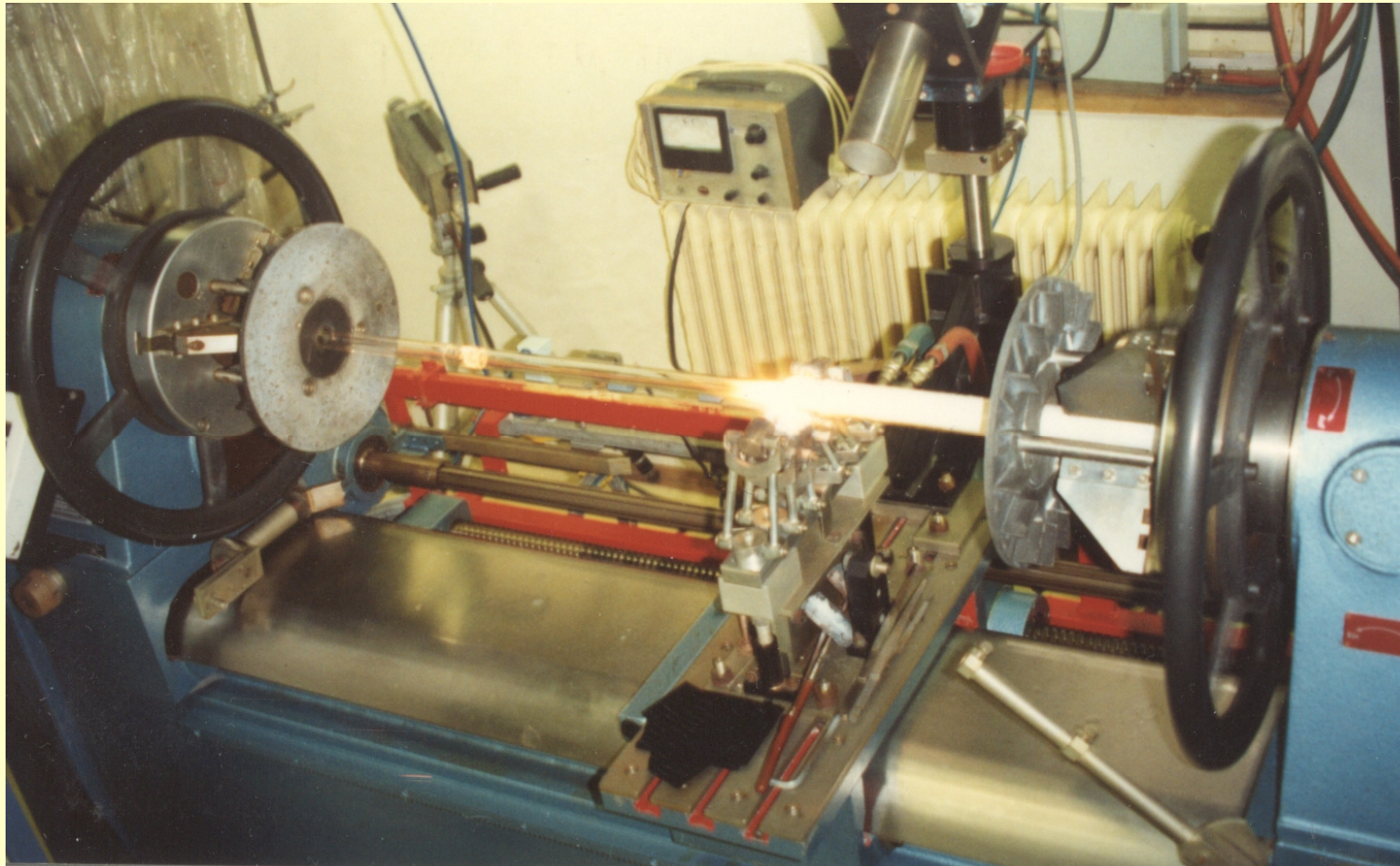
flowbox



Soustruh se
substrátem

MCVD

1. Příprava frit –depozice

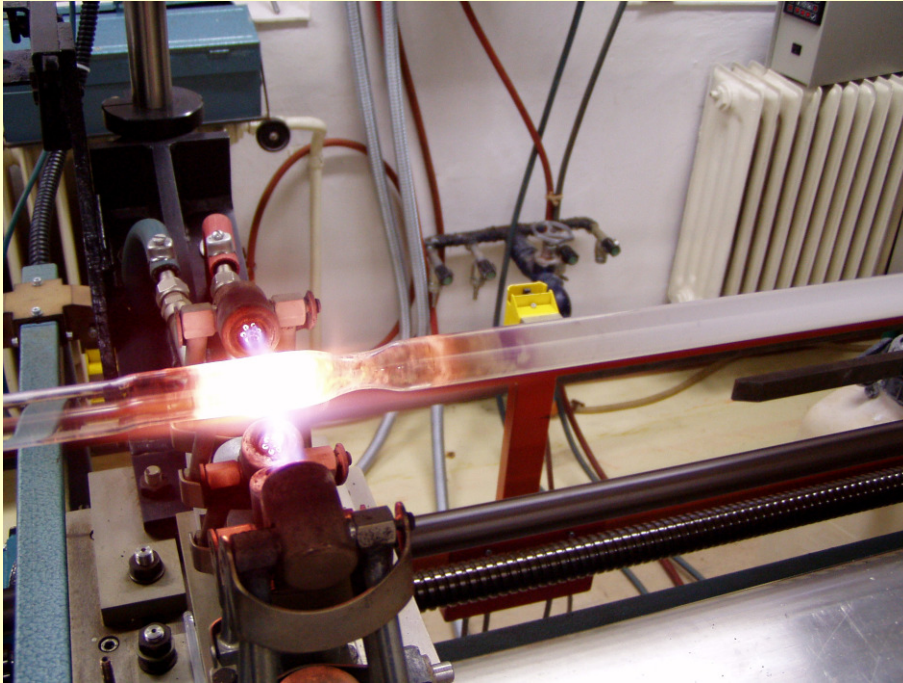


$t \sim 1300-1600^{\circ}\text{C}$, tloušťka vrstvy $\sim 2\mu\text{m}$, 100-150 vrstev

MCVD

2. Sintrování preformy

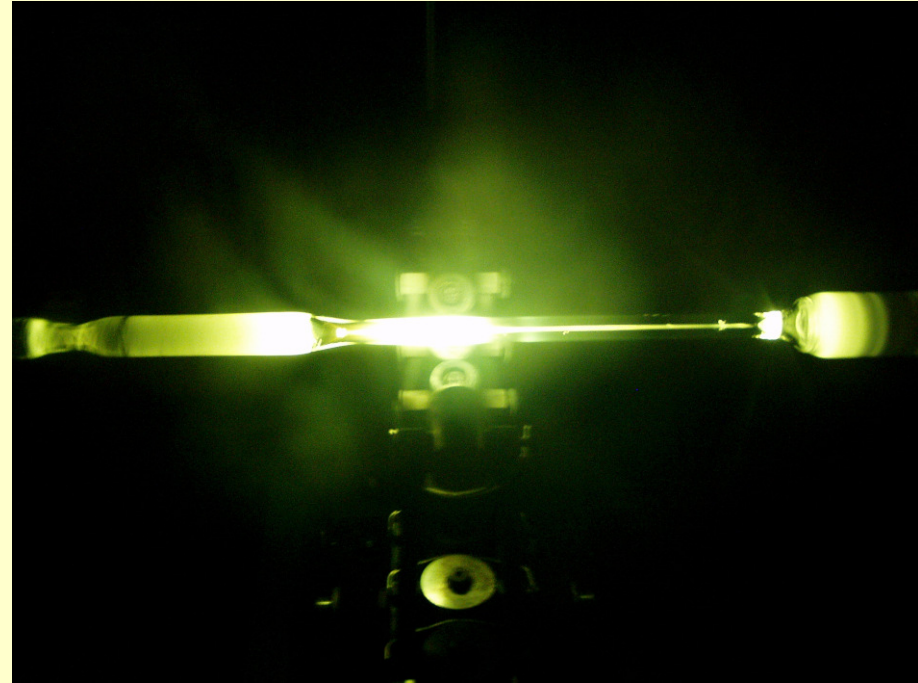
t ~1300-1600 °C



-vznik skelné fáze z frity

3. Kolaps preformy

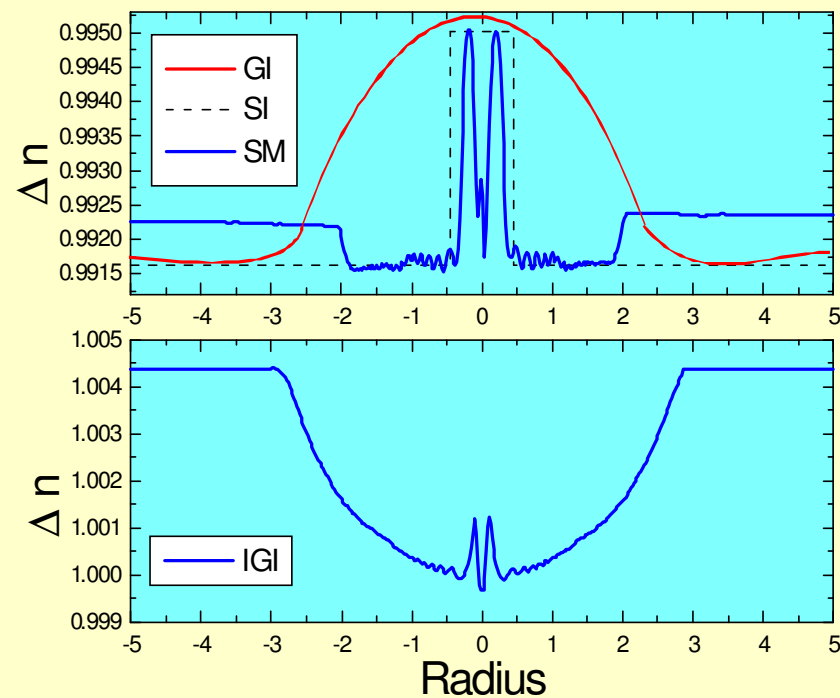
t ~2000-2200 °C



-smrštění v důsledku
povrchového napětí trubky

Vlastnosti preforem

Preformy s definovaným profilem indexem lomu



Rozměry průmyslových preforem:

délka: 1-1,5 m

průměr: 3-10cm

Obsah dopantů

$\Delta n > 0$

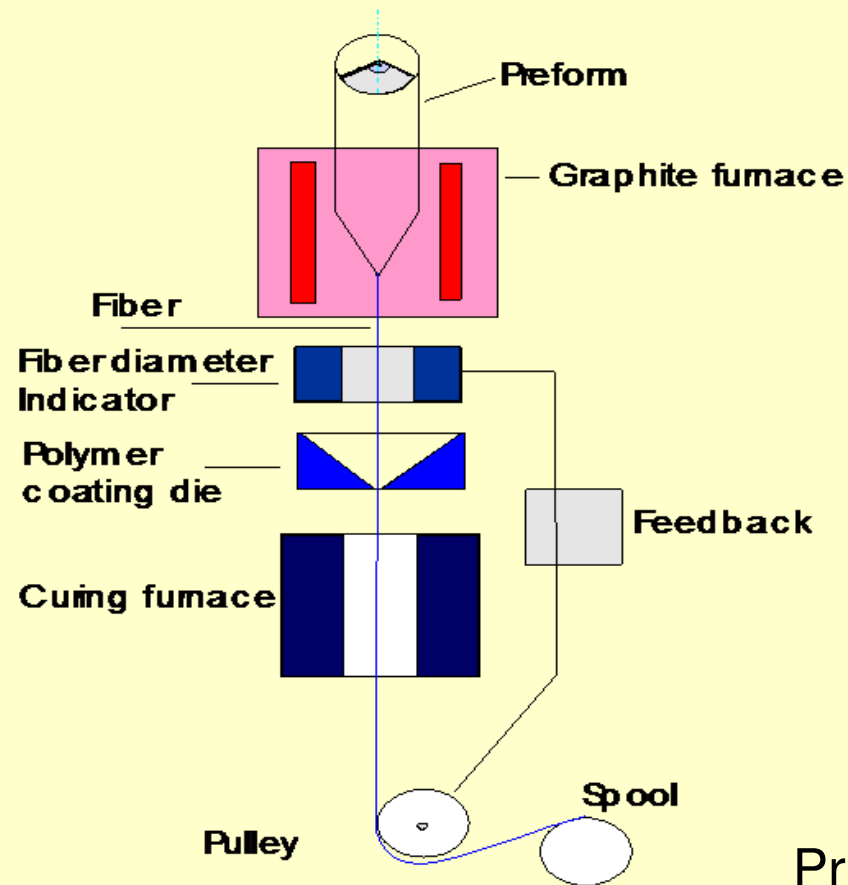
P, Ge, Al, Zr

$\Delta n < 0$

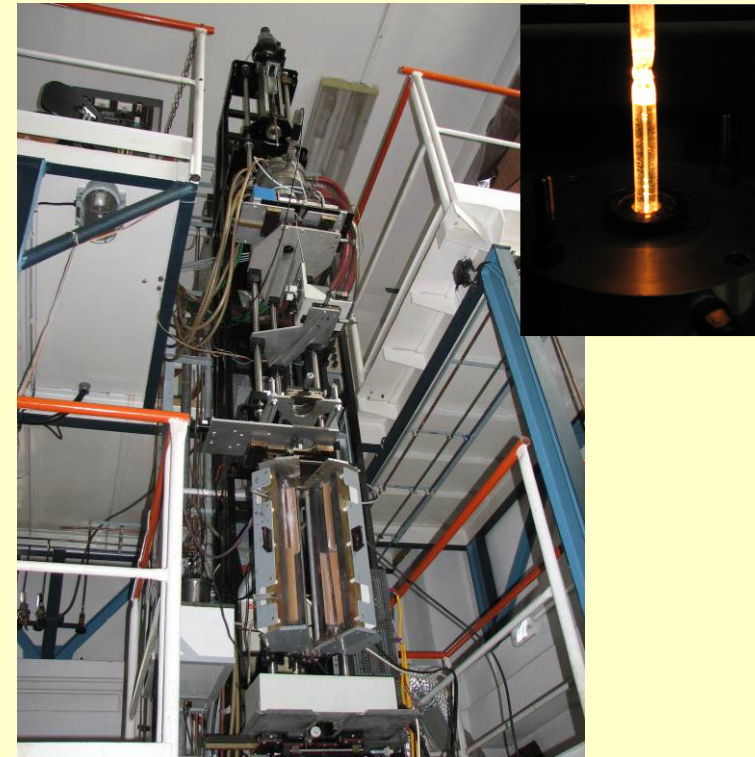
B, F

Tažení vláken

Schéma procesu

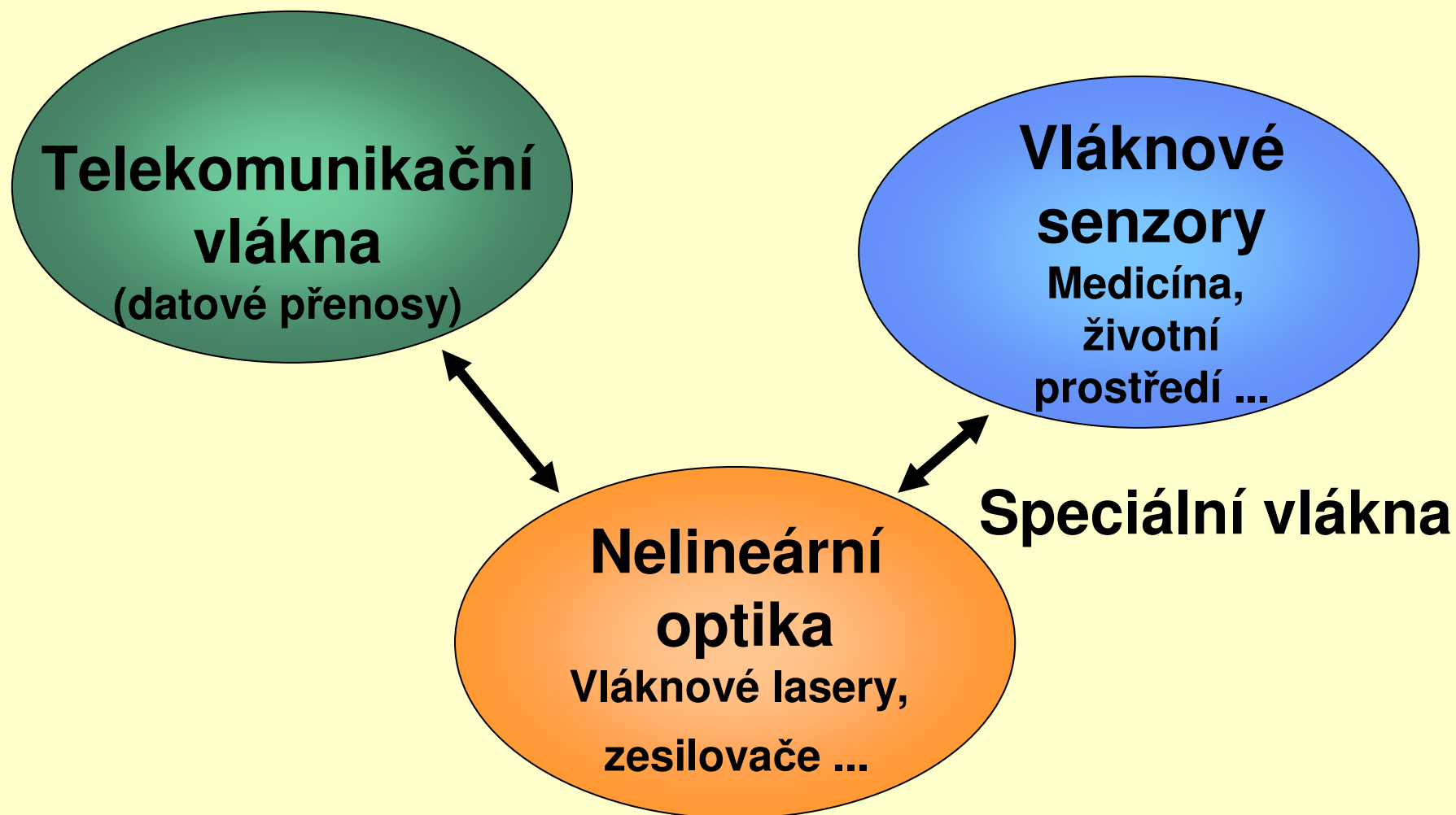


Tažící věž



Pracovní teploty: 1900-2100 °C
Vlákna o průměru 30 μm -1 mm
UV/Tepelně tvrditelné povlaky (3-100 μm)

Rozdělení optických vláken



Telekomunikační vlákna

Požadavky

nízký útlum

malá disperze (vlnovodná, materiálová)

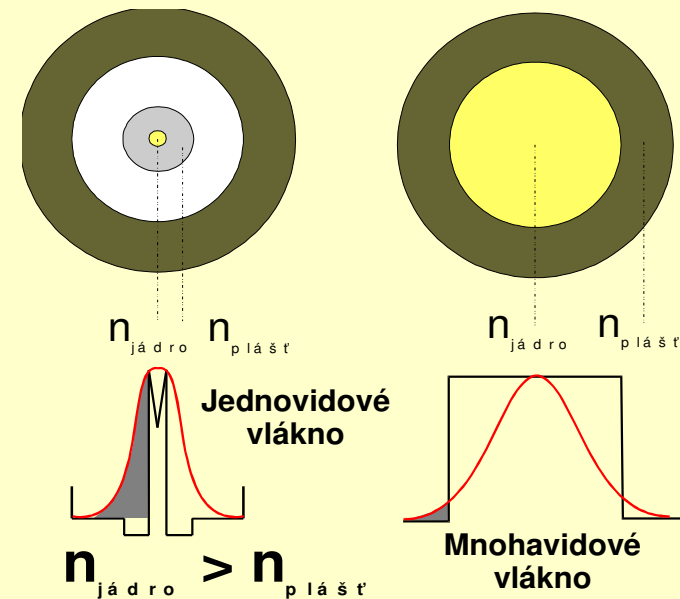
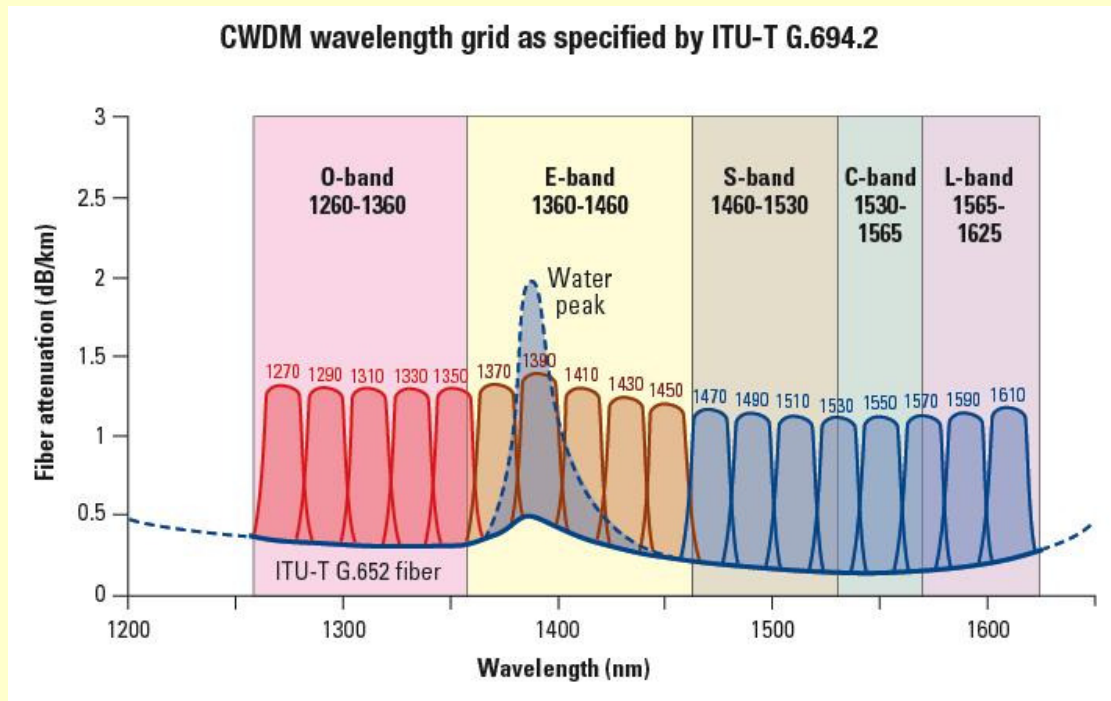
přenosová rychlost

využití stávajících instalací

konstrukce

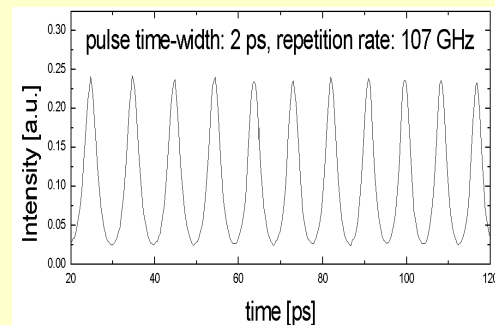
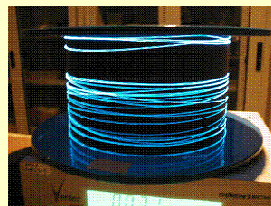
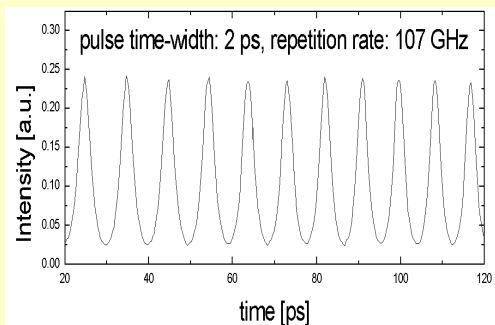
optické zdroje

optické zdroje



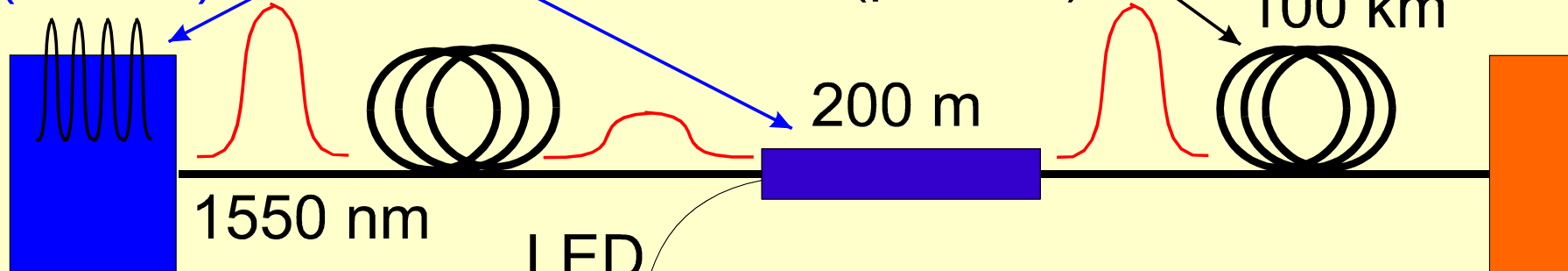
Jádro: 8 μm SM, 40 μm MM
Plášť: 125 μm

Telekomunikační linka



Speciální optické vlákno
(aktivní)

Optické vlákno - kabel
(pasivní)



VYSÍLAČ

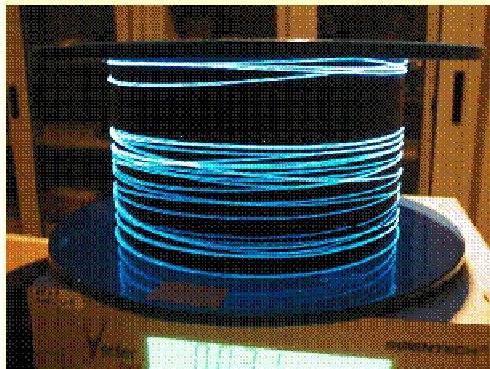
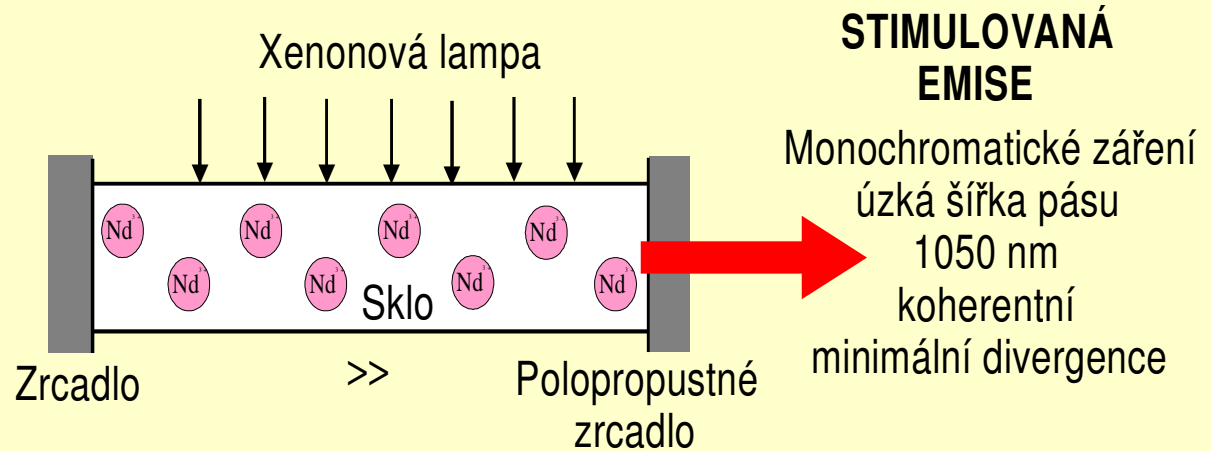
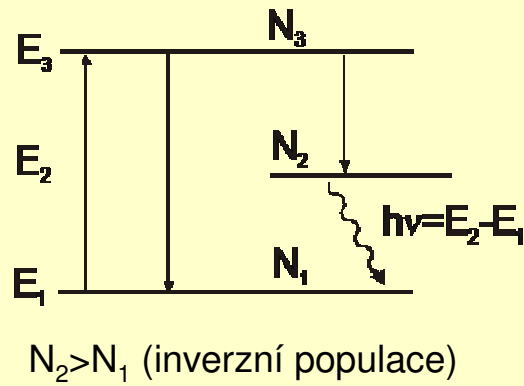
- polovodičový
- vláknově optický (EDFL)

ZESILOVAČ

- optoelektronický
- vláknově optický (EDFA)

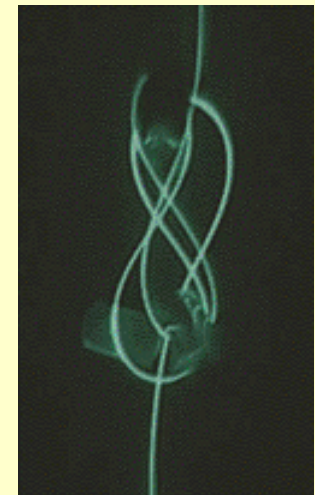
PŘIJÍMAČ

Vláknové lasery



Vláknové lasery – zesilovače signálu

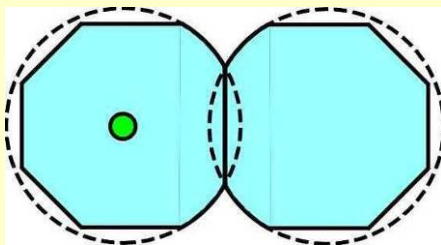
Nd^{3+}	1060 nm
Er^{3+}	960 nm
$\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$	1550 nm
Tm^{3+}	1460 nm



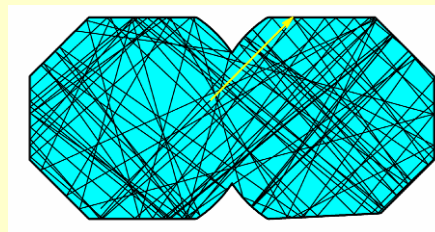
Telekomunikační linka

Zesilovací vazebný člen „trámeček“

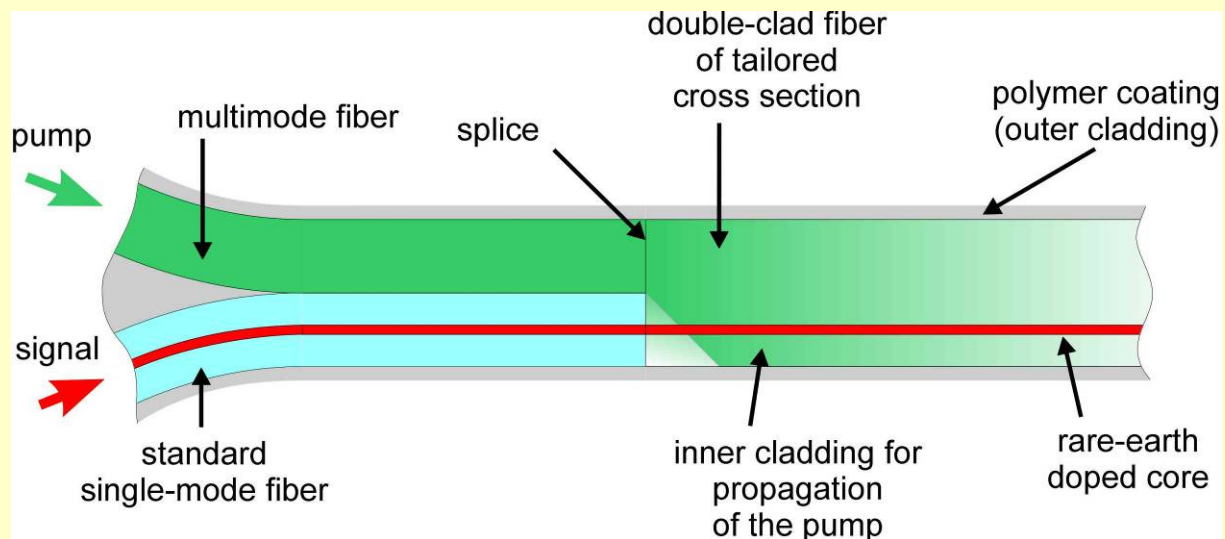
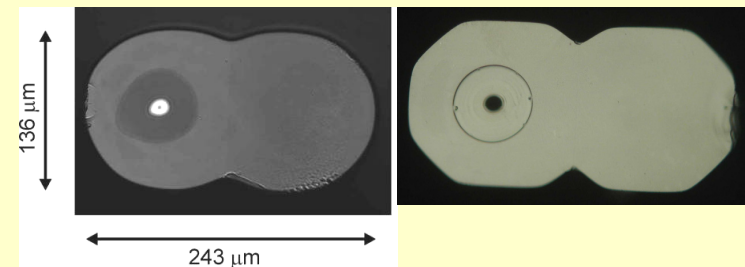
návrh struktury



simulace šíření

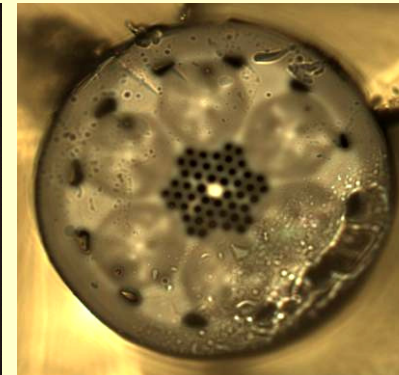
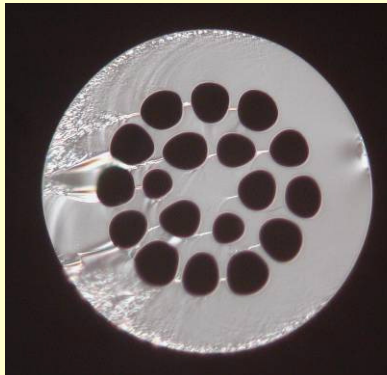
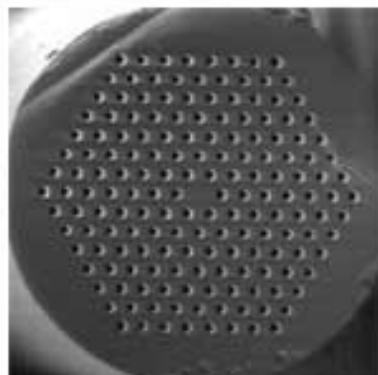
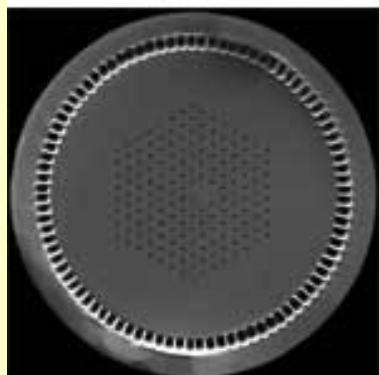
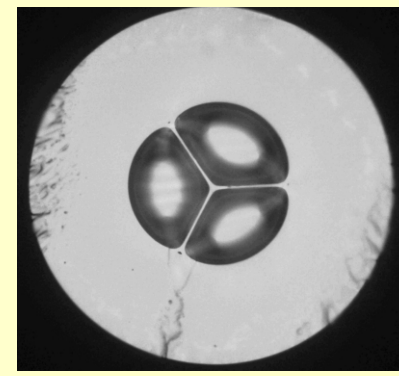
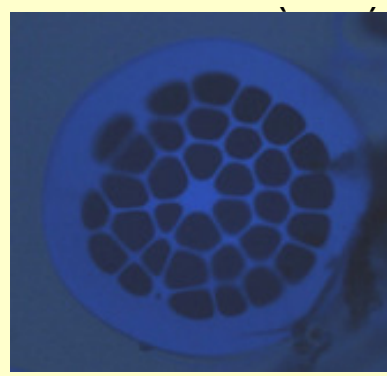
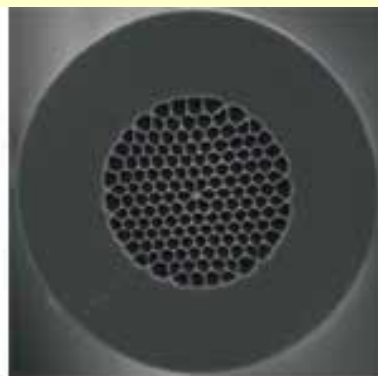
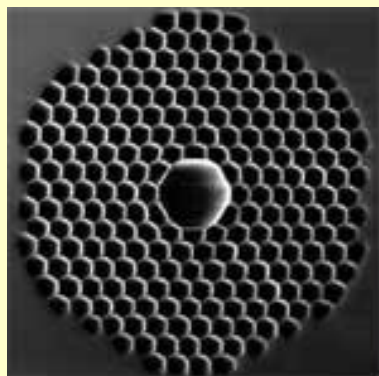


konstrukce



Mikrostrukturní vlákna

periodická vnitřní struktura vlákna



Fotonické vláknové krystaly (PCF)

kvantová interakce s přenášenou vlnou

rozměry $\sim 1.5 \mu\text{m}$

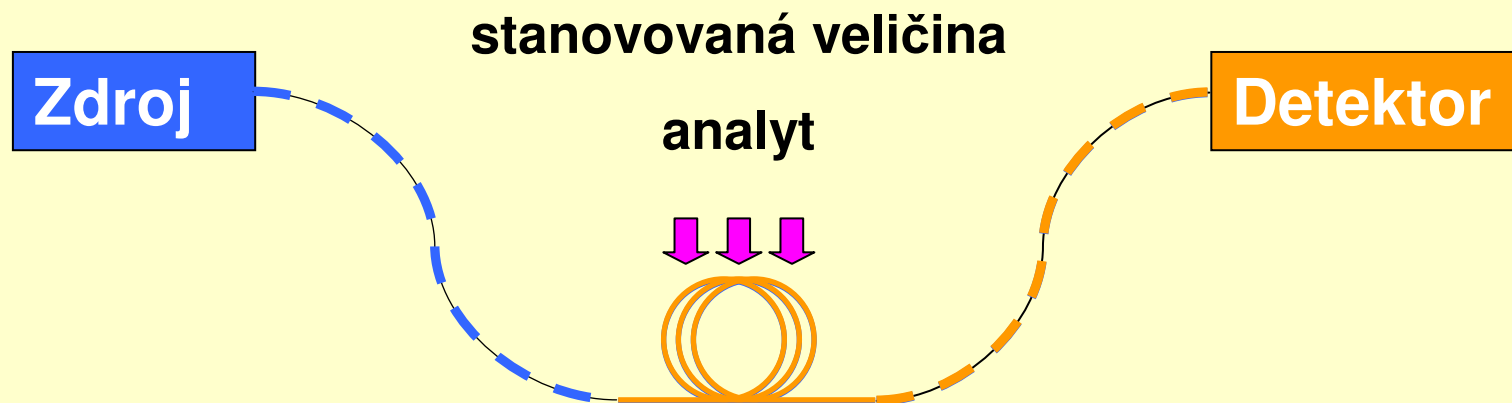
(Kompenzace disperze, generování spektrálního kontinua)

Mikrostrukturní vlákna (MSF)

chemické sensory

Vláknové senzory

Kontinuální monitorování (bio)chemických látek a jejich koncentrace na nepřístupných místech (vzdálených, nebezpečných, v lidském těle)



Změna přenášeného signálu vlivem okolního prostředí
(refraktometrické, spektrální)

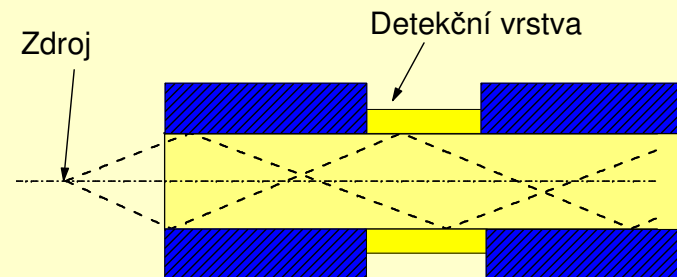
Rozdělení vláknových senzorů

Intrinsické

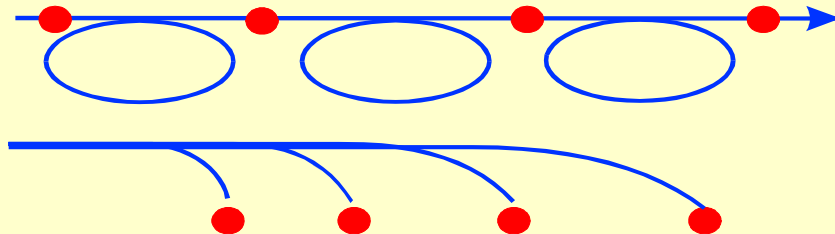
změna vlnovodných vlastností
(teplota, tlak, ohyb)

Extrinsické

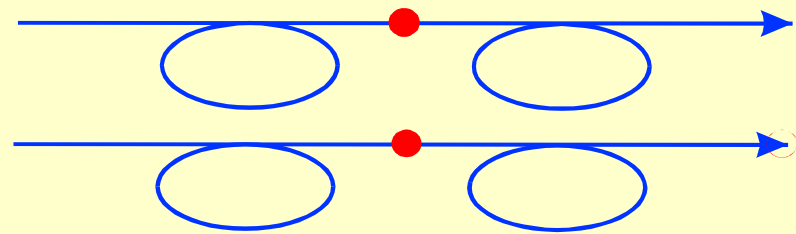
aktivní vrstva/převodník
(absorpce, luminiscence)



Mnohabodová (distribuovaná) detekce



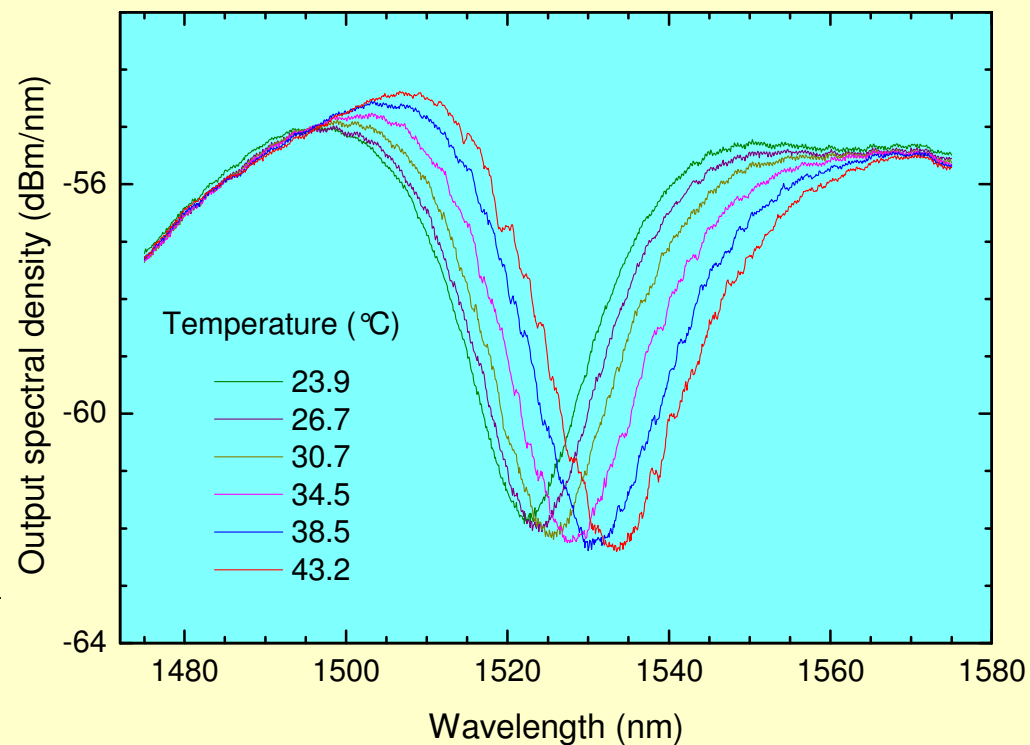
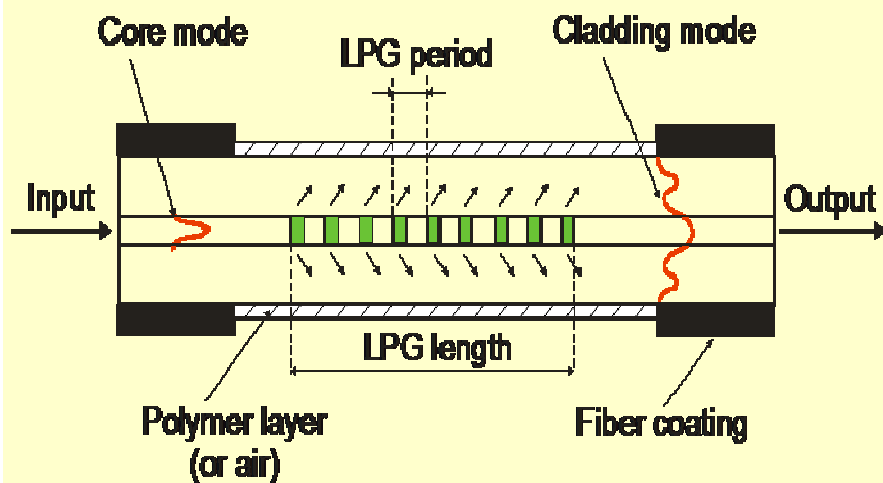
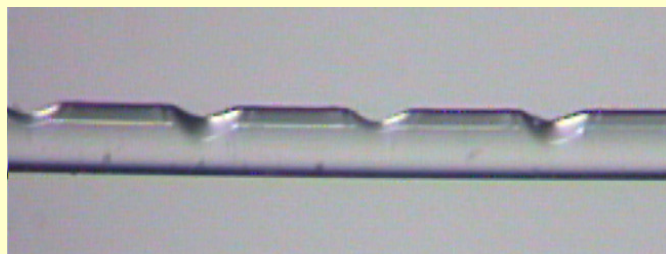
Bodová detekce



Intrinsické senzory – detekce teploty

Mřížky s dlouhou periodou (LPG) $\sim \lambda$ (1500 nm)

mřížka zapsaná laserem do vlákna – lokální napětí měnící index lomu
vyvážení jaderných vidů do pláště

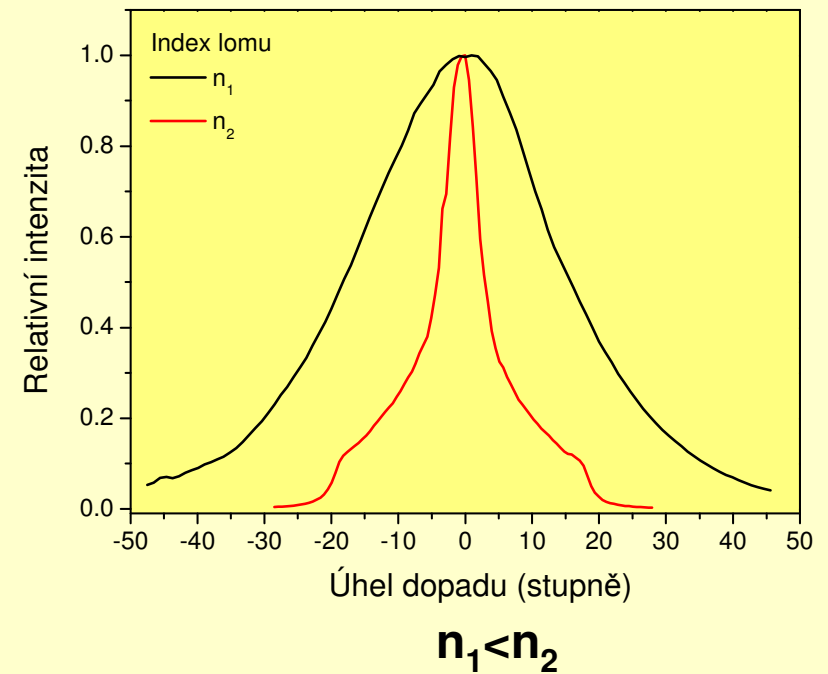
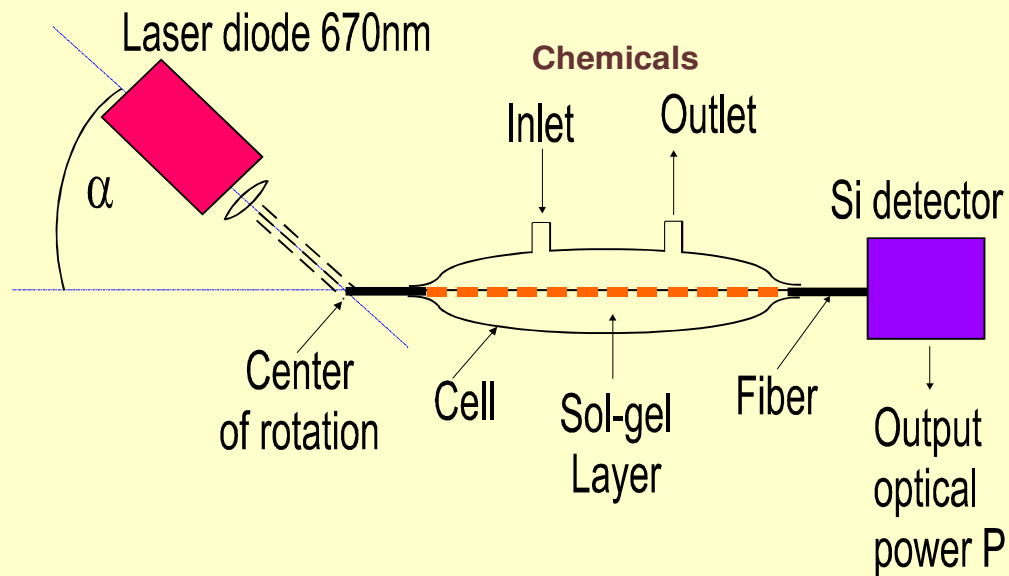


Citlivost na teplotu : $\approx + 0.58 \text{ nm}/^\circ\text{C}$

Extrinstické senzory - refraktometrické senzory

Změna indexu lomu obalu

- binární směsi
- výbušné prostředí
- detekce plynů a kapalin
- tvrzení polymerů



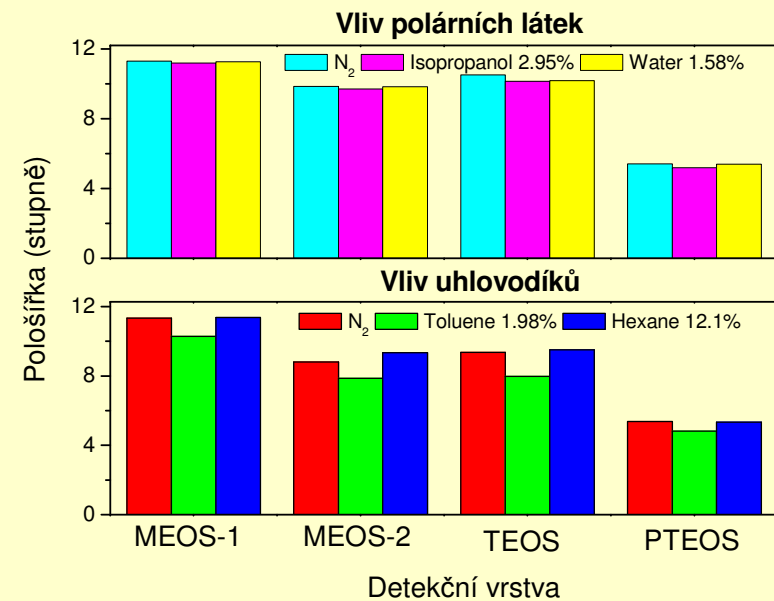
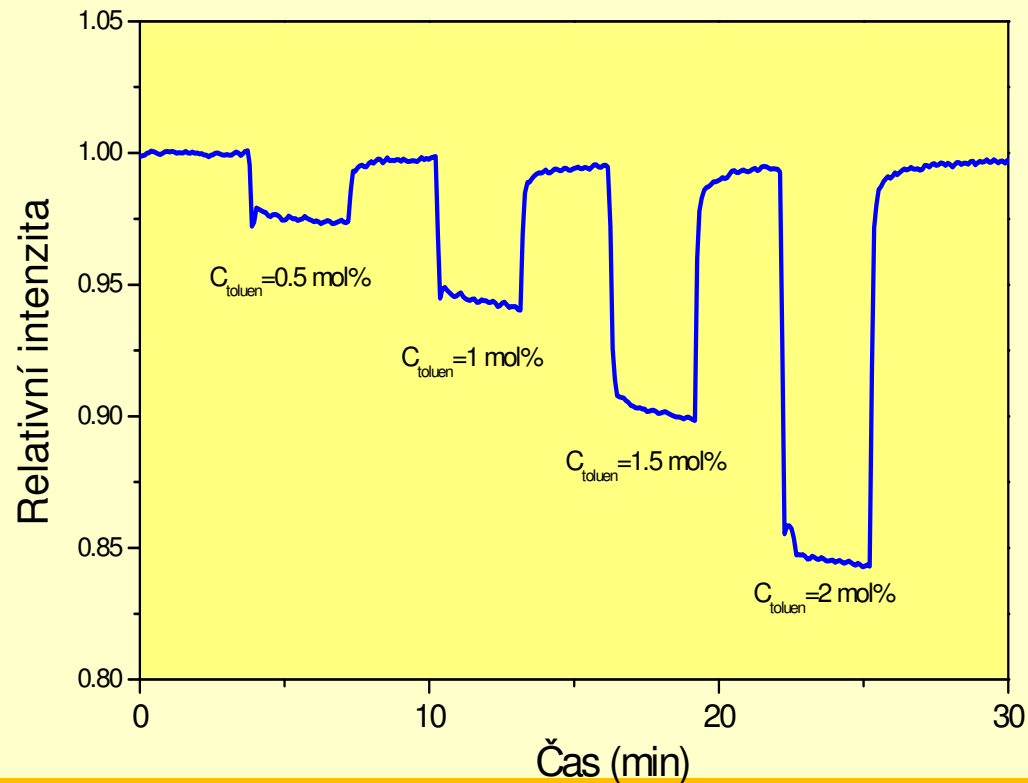
Refraktometrické senzory – detekce uhlovodíků

Detekce v plynné fázi

- úniky
- příměsy
- reaktory (rafinerie, produktovody)

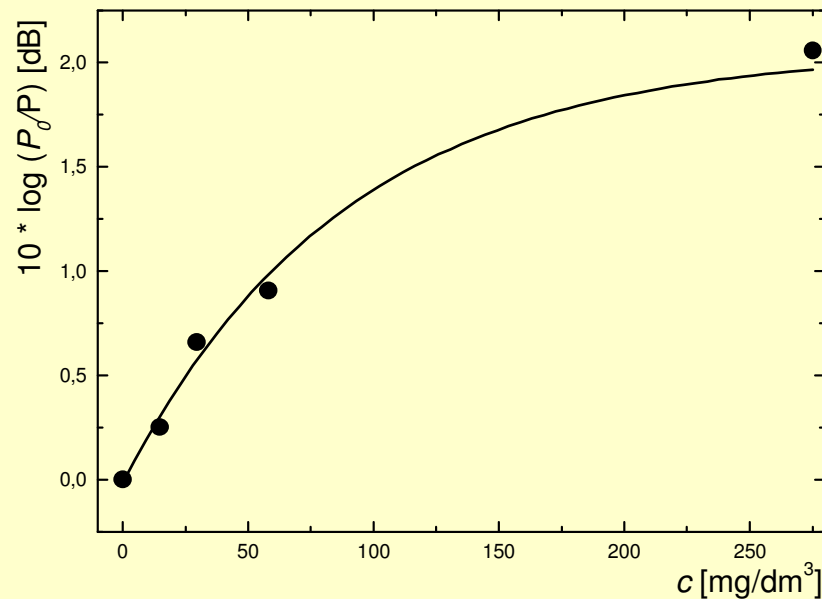


Detekce toluenu

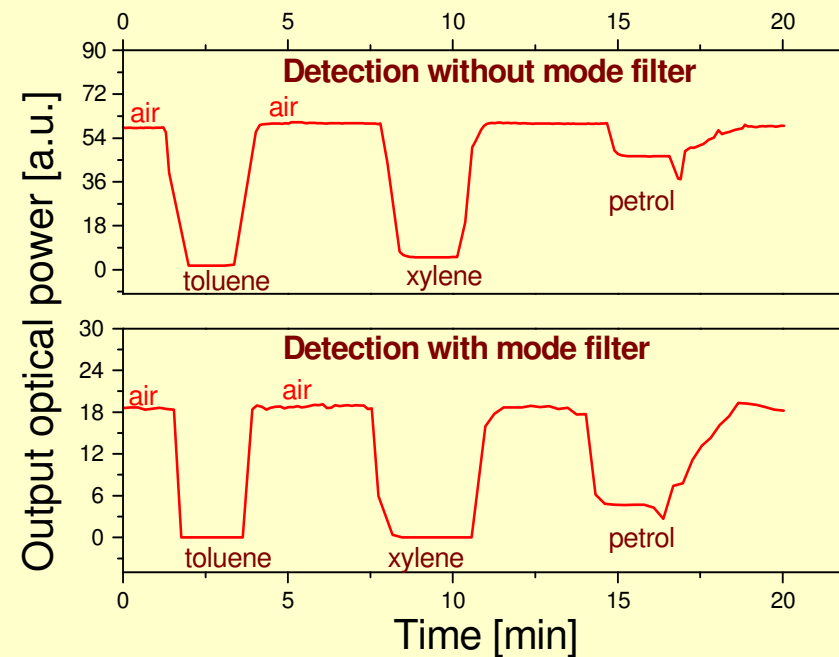


Refraktometrické senzory – detekce uhlovodíků

Detekce uhlovodíků ve vodě -adsorpční vrstva PDMS



Mez detekce ~ 3-5 mg/l
(srovnatelné s limity EU)

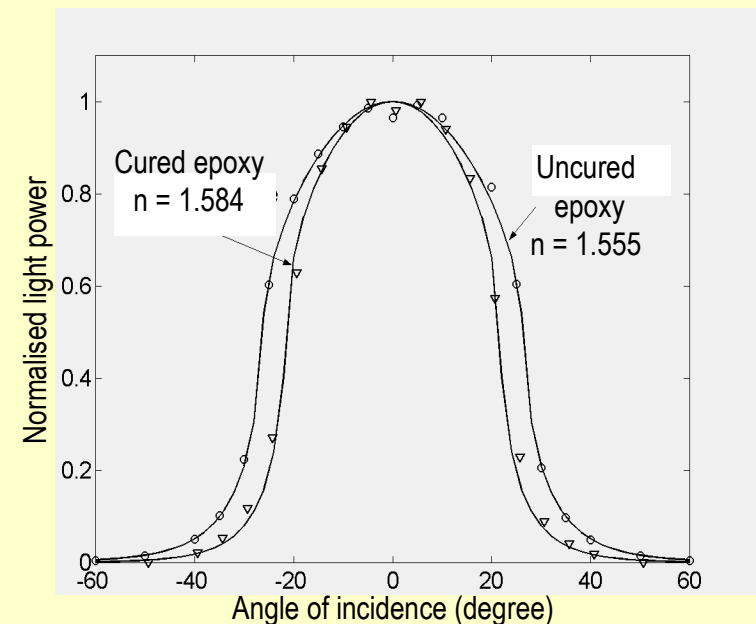
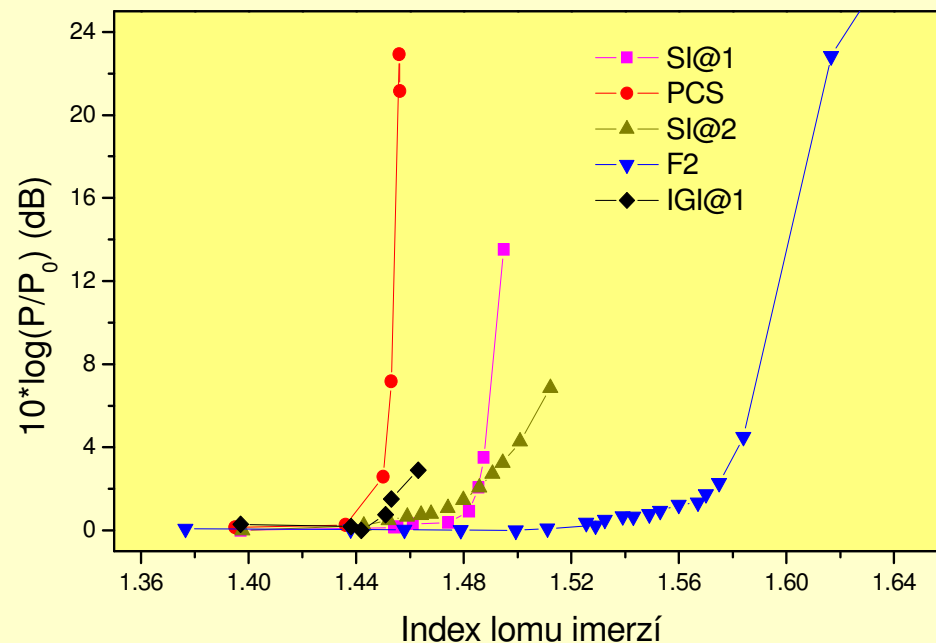


Refraktometrické senzory – materiály

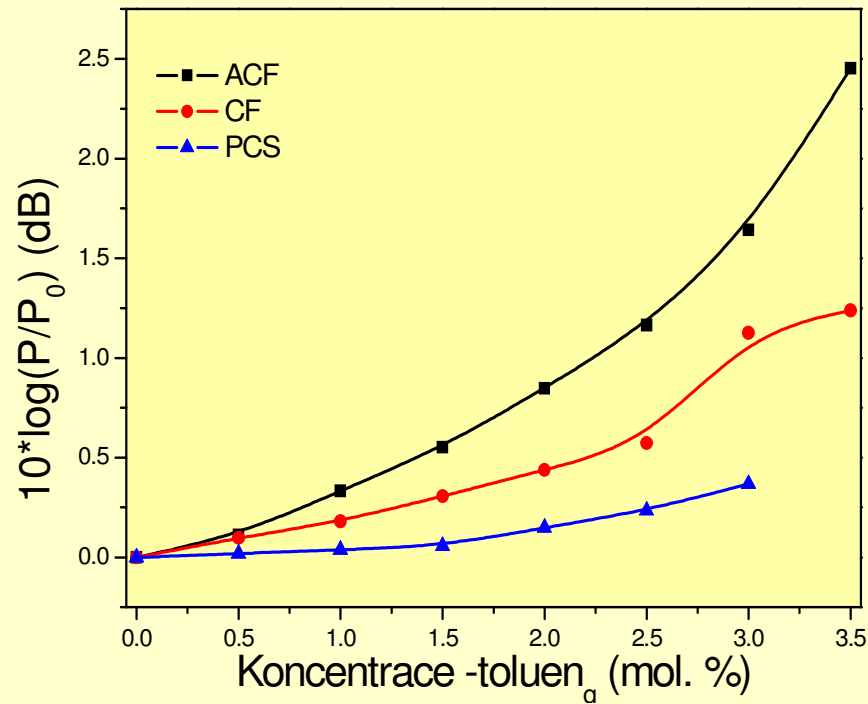
index lomu prostředí blízký indexu lomu vlákna

speciální skla o vysokém indexu lomu –F2 (olovnaté sklo)

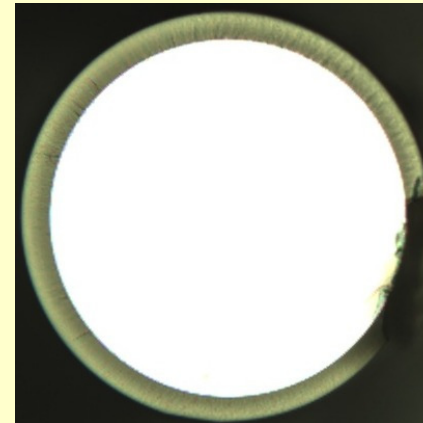
Evanescentní sensor pro monitorování vytvrzování nebo stárnutí polymerů



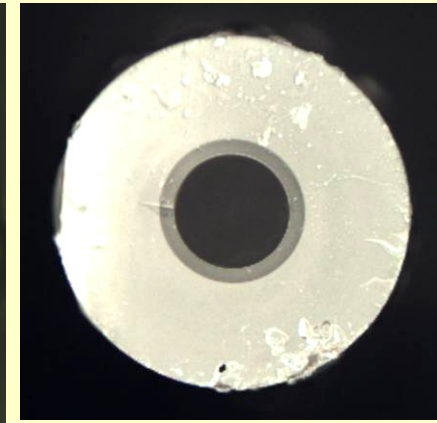
Refraktometrické senzory – vliv struktury



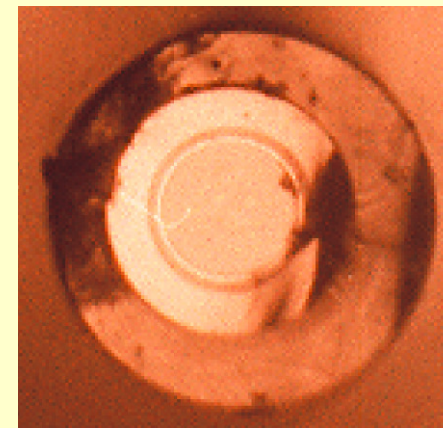
Polymer Clad
Silica



Capillary Fiber



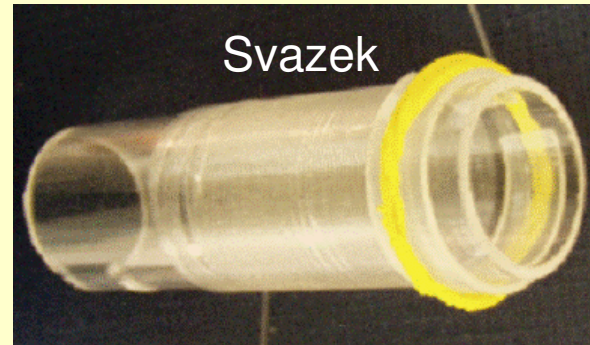
Annular Core Fiber



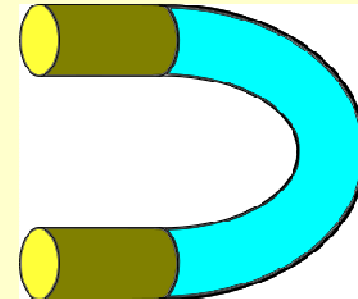
- Flexibilní kapiláry s kapalným jádrem
- Substráty pro chromatografii
- Restriktory

Tvar sondy

Tvar sondy

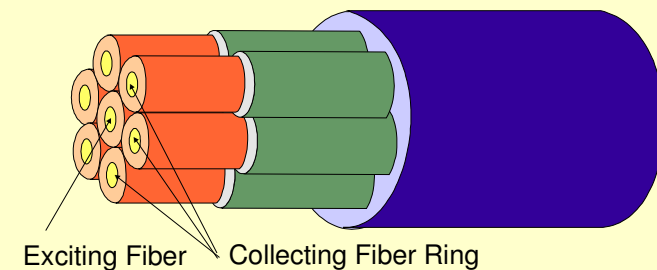
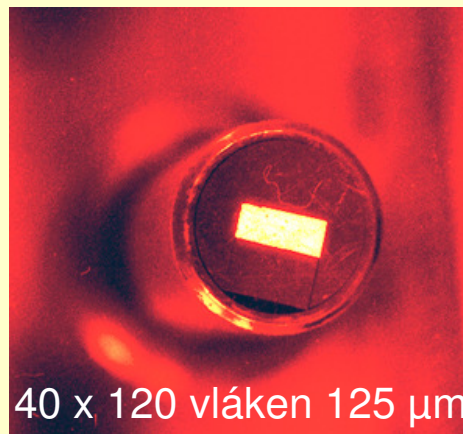
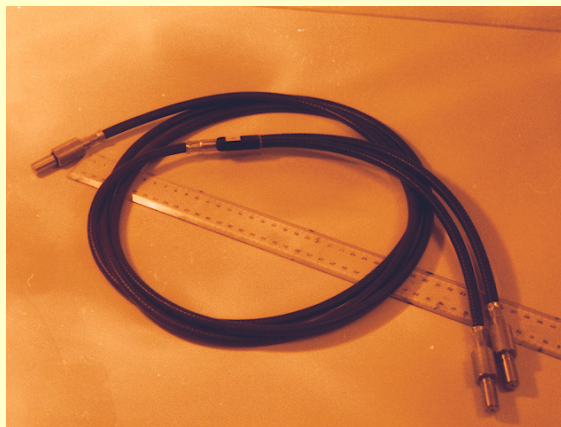


U –vlákno



Vláknové svazky

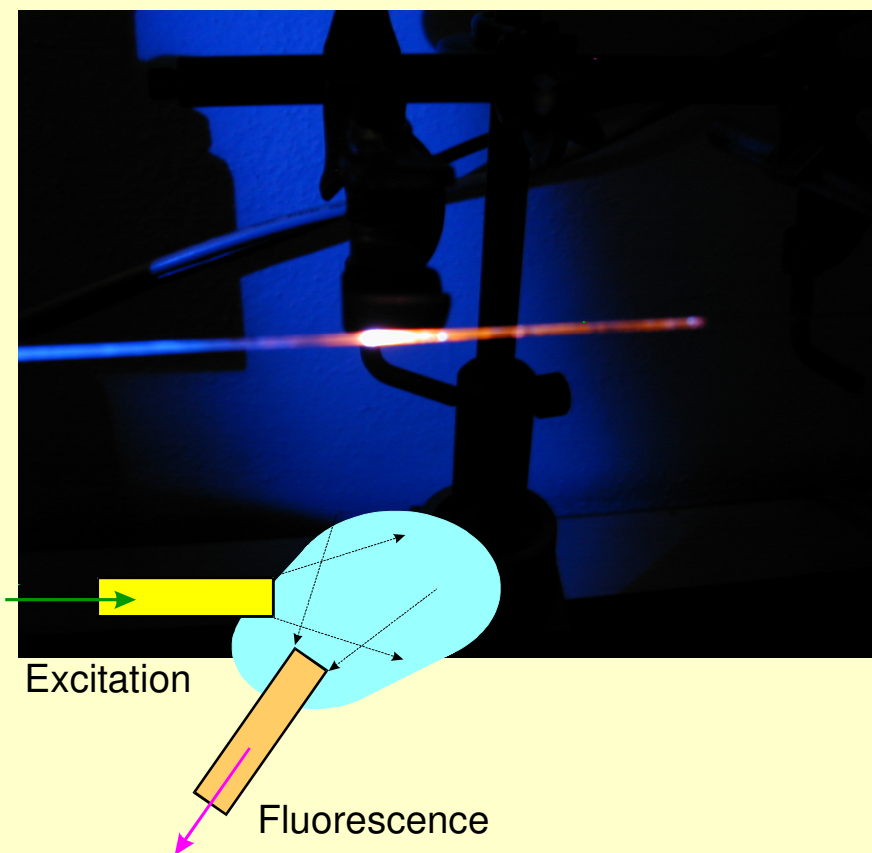
–vícekanálové senzory (detekce několika analytů)



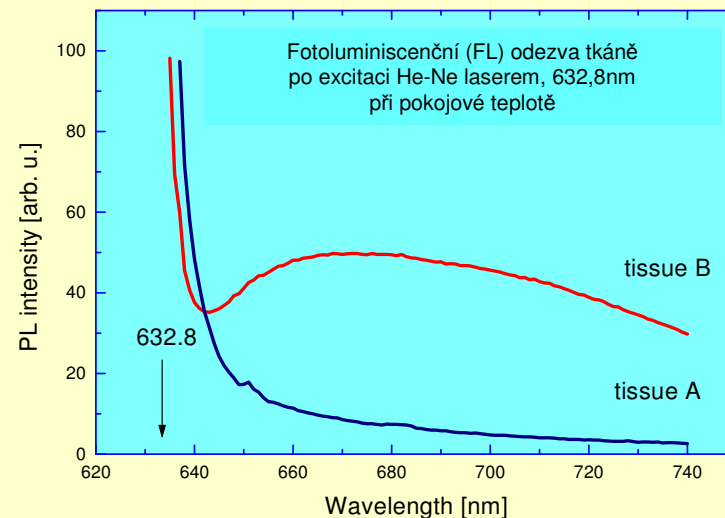
Fluorescenční senzory

Interakce analytu s převodníkem

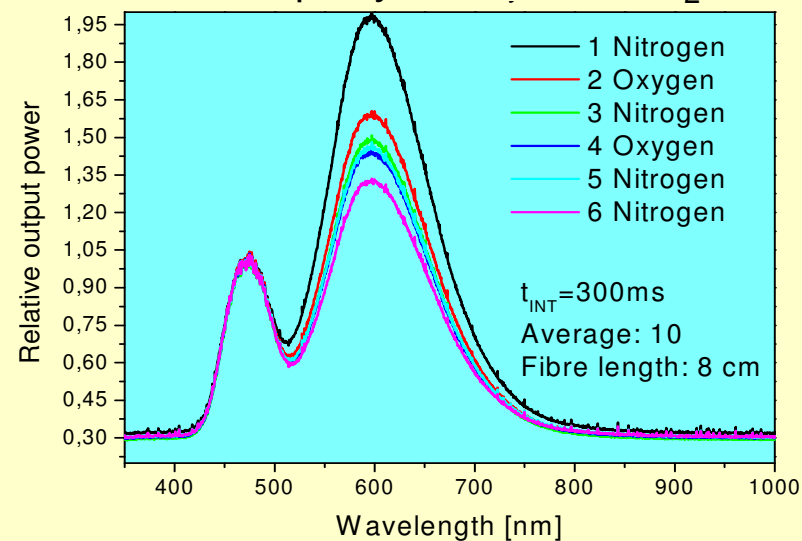
- autofluorescence (diagnostika tkání)
- imobilizovaným v matrici



Autoluminiscence



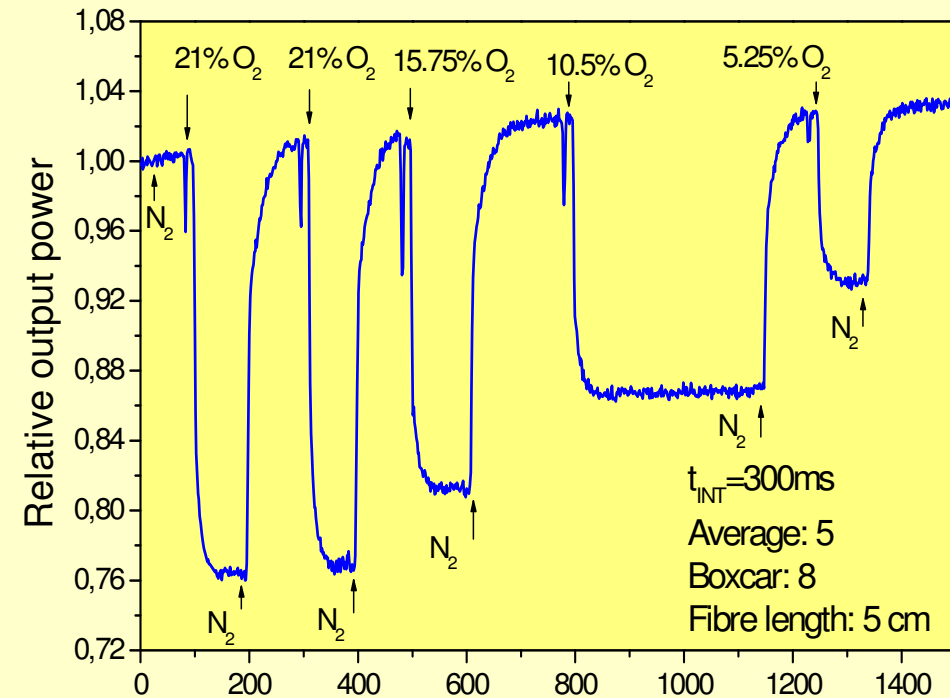
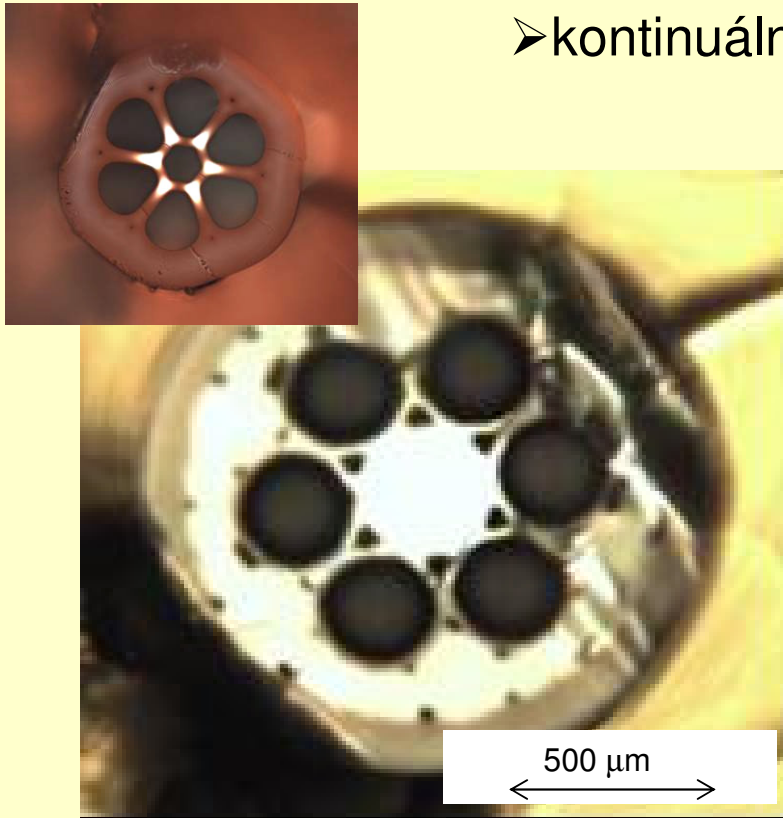
Komplexy Ru citlivé na O₂



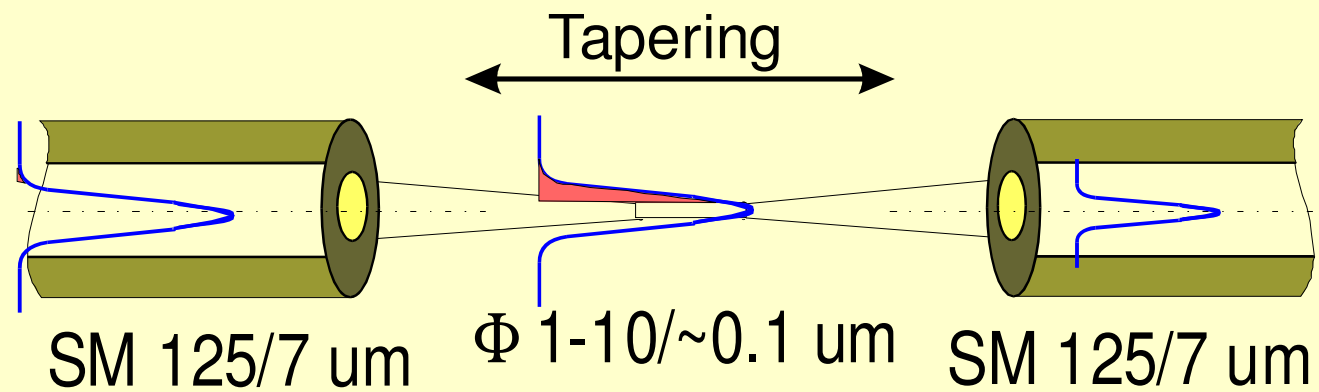
Fluorescenční senzory - detekce kyslíku

Ru komplex imobilizovaný v dutinách MSF

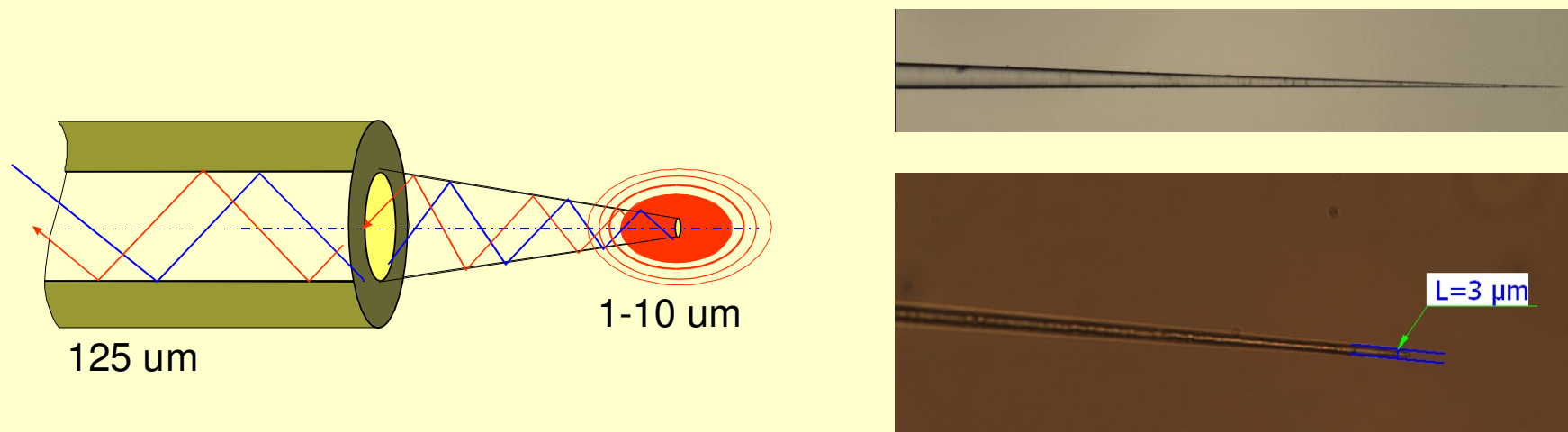
➤ kontinuální průtočná sonda



Vláknové senzory – taperovaná vlákna

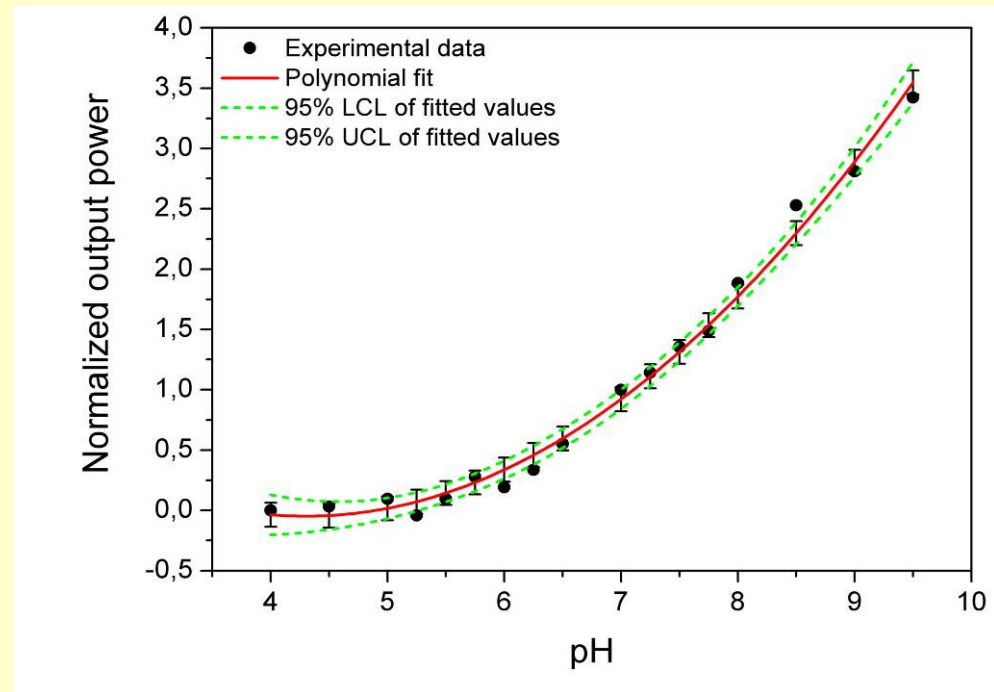
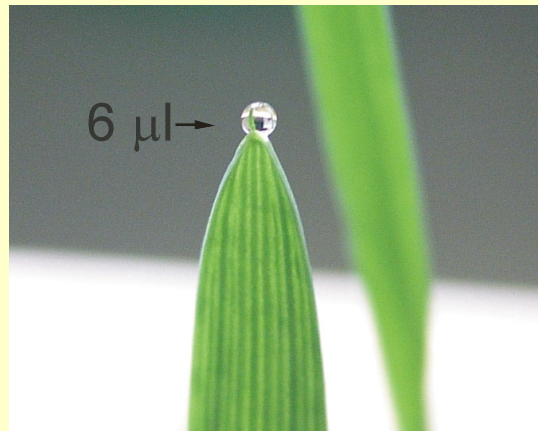


zúžení vlákna na průměr několika μm



Fluorescenční senzory – bodová detekce pH

detekce pH v exudátech a rostlinných buňkách „in-vivo“

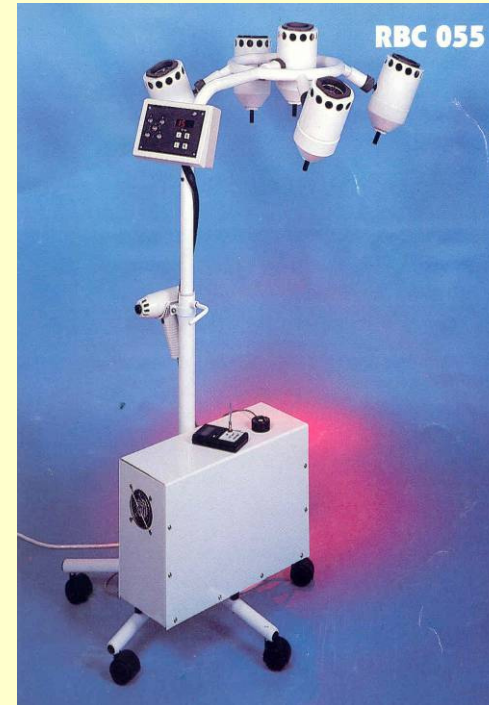


Použitelné v rozsahu pH 5-9

převodník HPTS

excitace 480 nm, emise 525 nm

Vlákna pro medicínu



- **Angioplastika** - zprůchodňování cév pomocí intenzivního laserového pulsu
- **Fotodynamická diagnostika a terapie**
- **Optická biopsie** v diagnostice rakoviny

Závěr

Seznámení s historií a technologií optických vláken

Ukázka aplikací:

telekomunikace

senzory

Děkuji Vám za pozornost