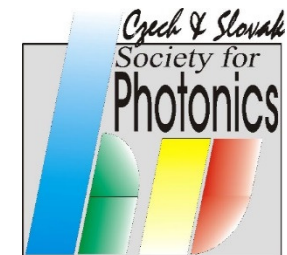
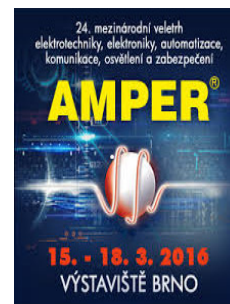
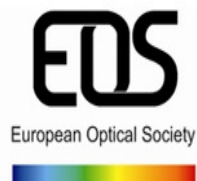




Optická vlákna – srdce vláknových laserů

I. Kašík

Ústav fotoniky a elektroniky, AVČR, v.v.i., www.ufe.cz



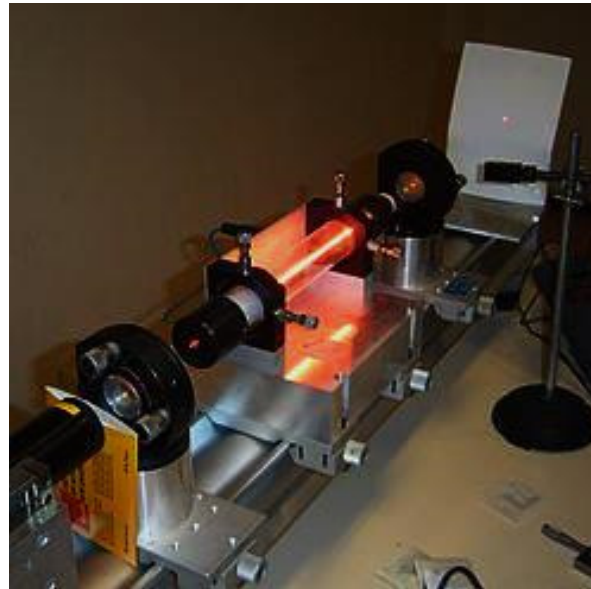
Vláknový LASER

Optické vlákno & LASER



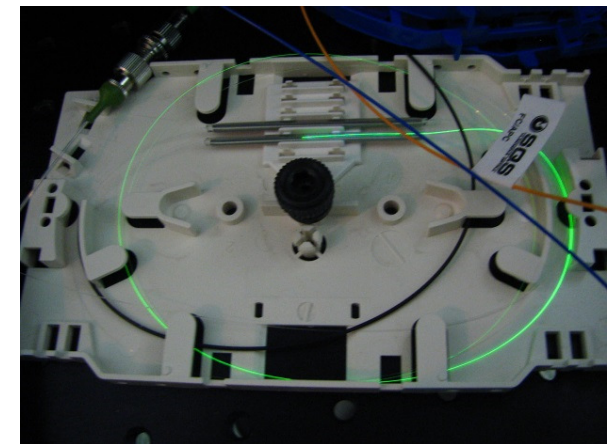
[fastcompany.com]

&



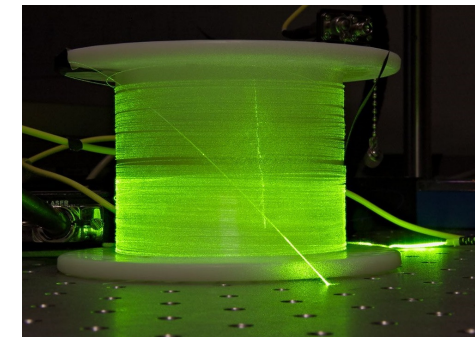
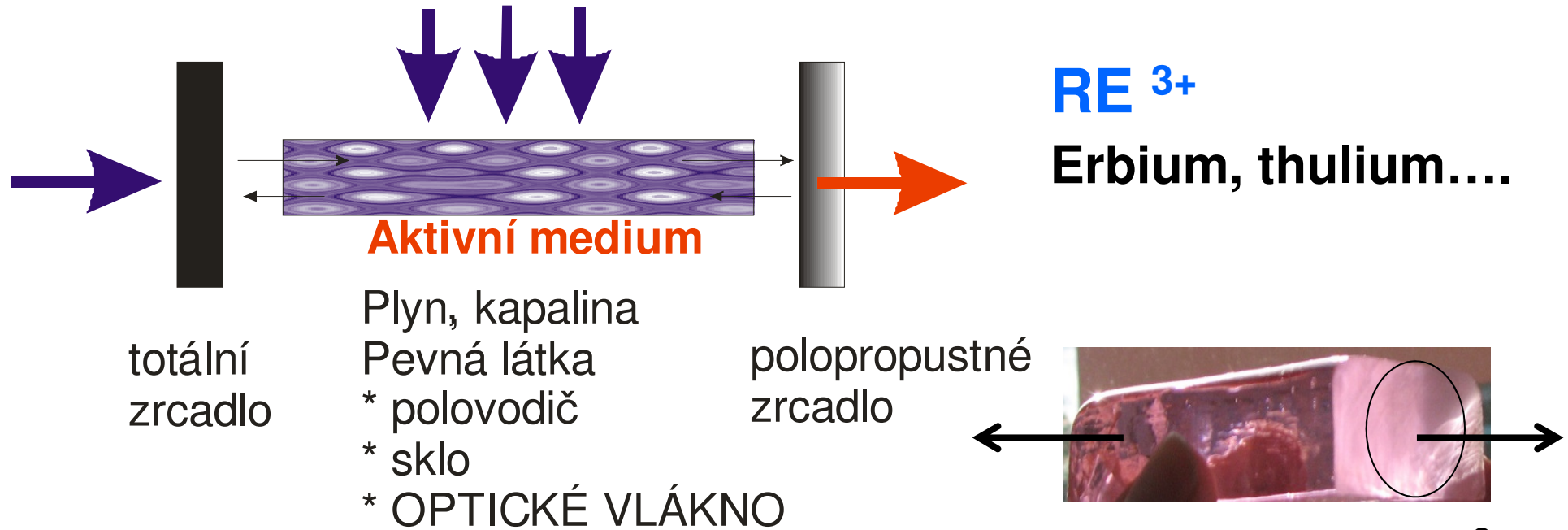
[Wiki.cz]

=>
vláknový laser



LASER - stimulovaná emise

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

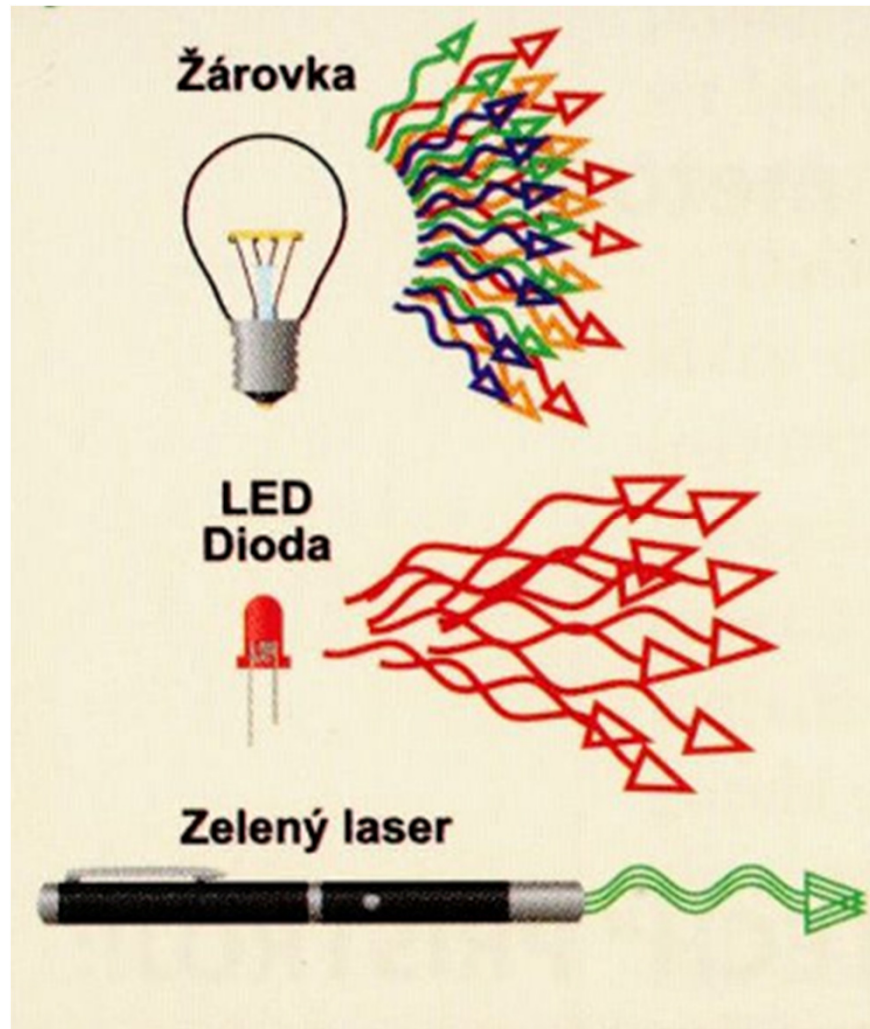


Er³⁺

[Maimann – 1960 - **LASER**
Townes, Prokhorov, Basov – 1964 - Nobel]

0.5% => ~70%

LASER - Stimulovaná emise



[H.Jelínková, Čs. časopis pro fyziku, 4-5/2010]

LASER - záření

- * monochromatické
- * koherentní

Vláknový LASER

[Snitzer, Koester, 1964]

- * vysoká účinnost
- * kvalita svazku
- * jas (brightness)
- * účinné čerpání
- * kompaktnost
- * rozměry

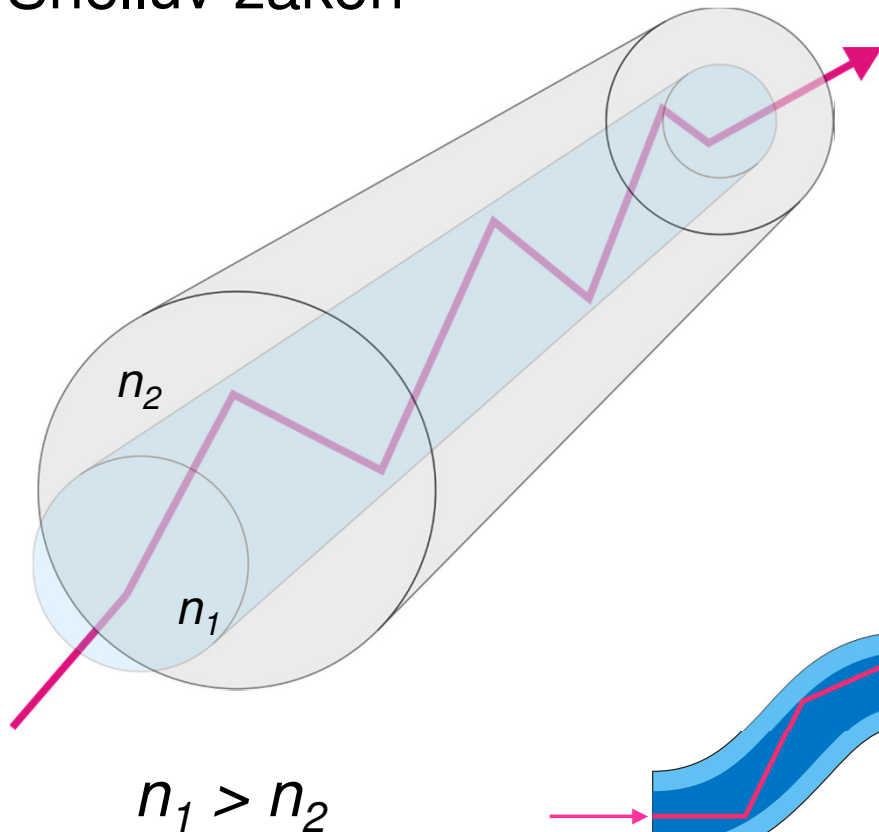
J.AUBRECHT – AMPÉR

17.3. 2016, 13:00

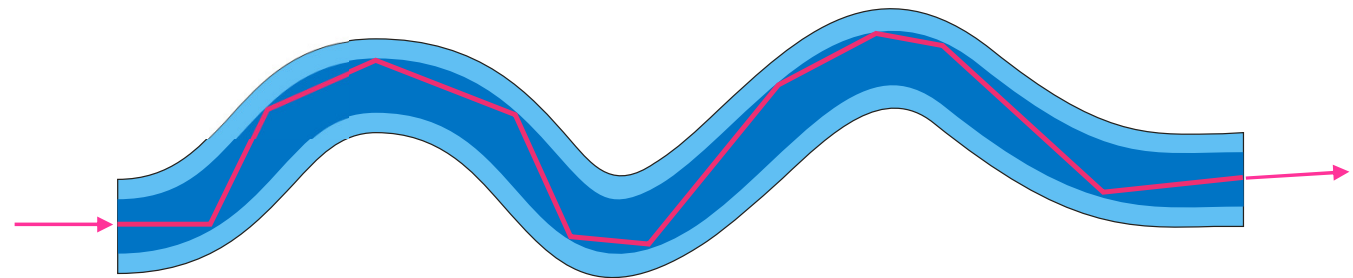
Optické vlákno

Dielektrická struktura, délka \gg poloměr, totální odraz : $n_{\text{jadro}} > n_{\text{obal}}$

Snellův zákon



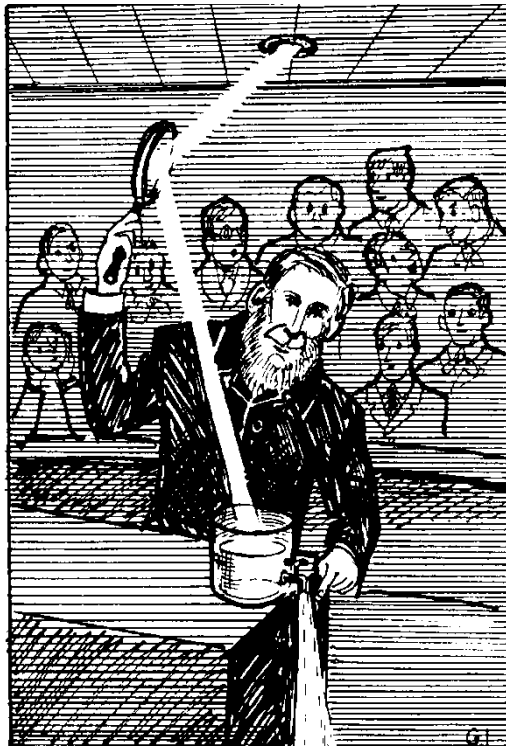
Index lomu ($n=c/v$)	
Vakuum	1
Vzduch	1,0003
Voda	1,330
Křemenné sklo	1,457



Optické vlákno

Snell Willebrord †1626

Tyndall John, 1853



Křižík František, 1891



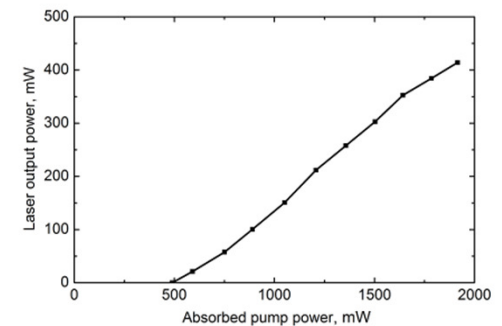
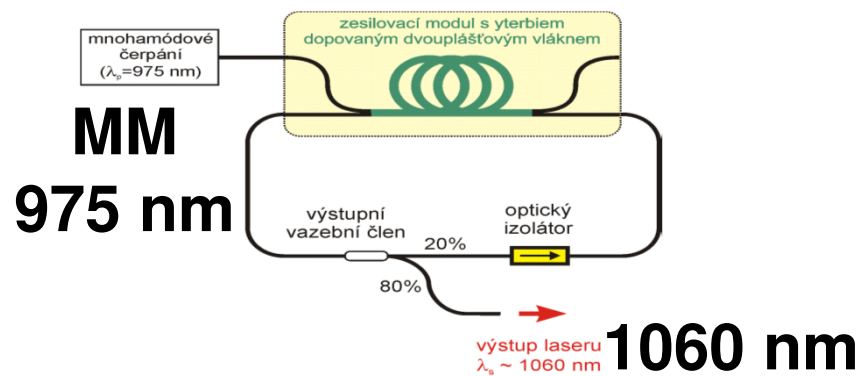
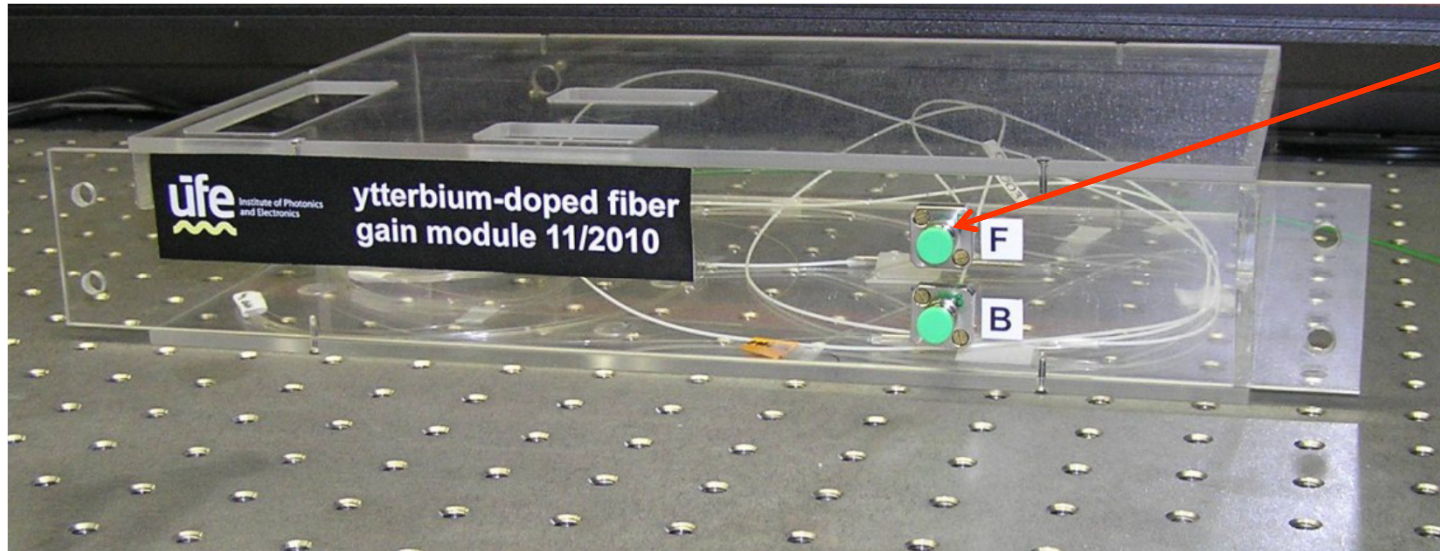
Kao Charles K.
1964, Nobel 2009



[Superstarofscience.com]

Vláknové lasery / zesilovače **mW** → **kW**

Yterbiový DC vláknový zesilovací modul



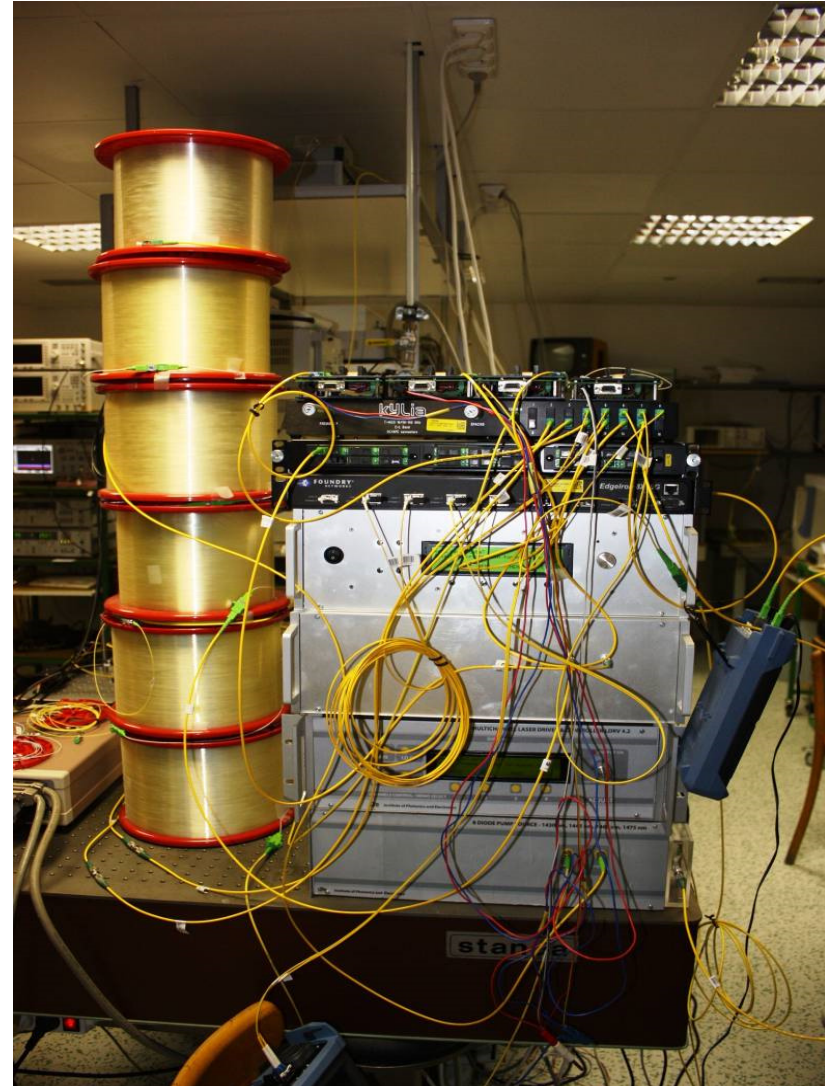
[A. Novozamsky, Proc. SPIE 7746, 2010], [Peterka, 2011]

Vláknové lasery (zesilovače) **mW** → **kW**

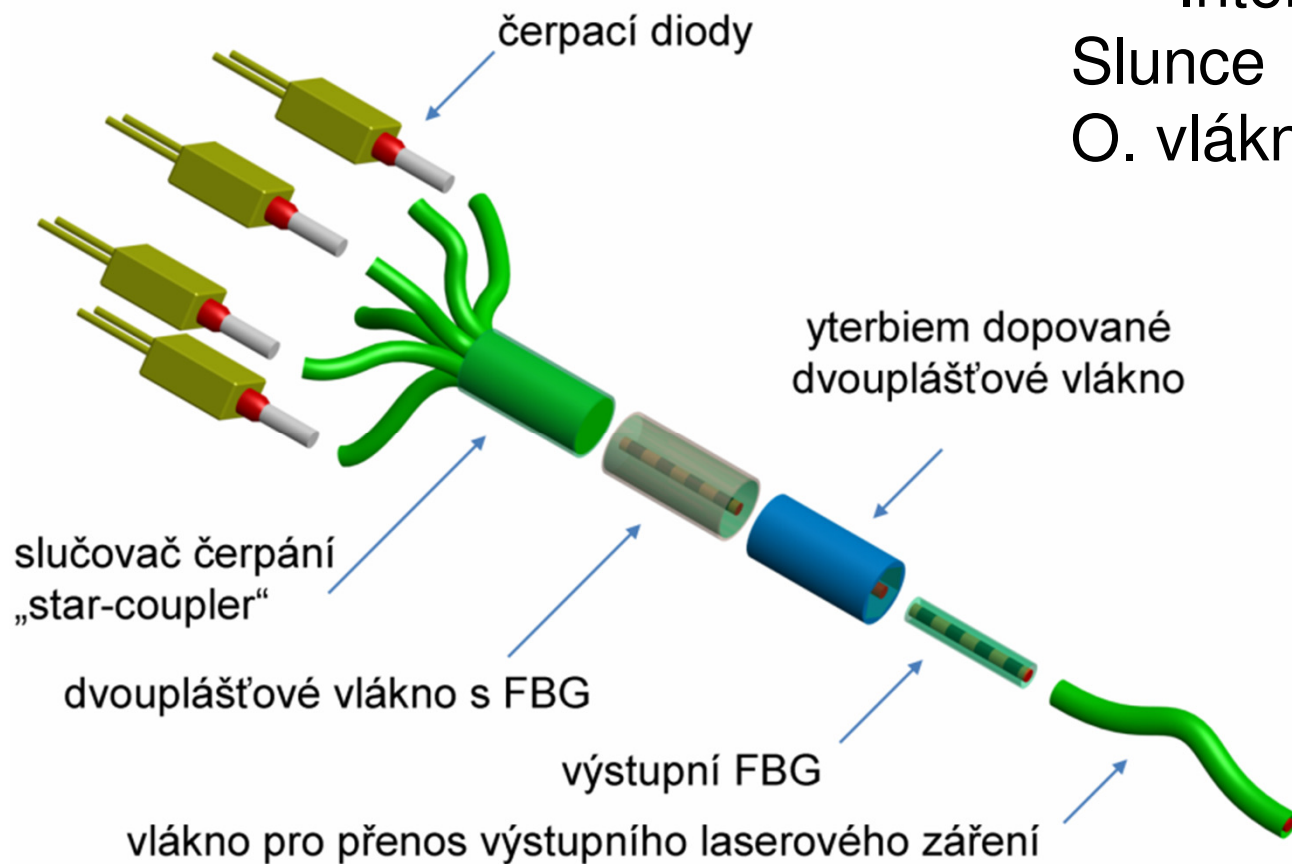
mW aplikace

- Telekomunikace
- Sensory
- Metrologie
 - drsnost povrchů
 - atomové hodiny
 - navigační systémy

**Testovací linka Praha – Brno
(200 km), Cesnet & UFE**

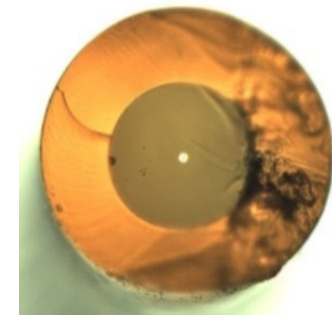
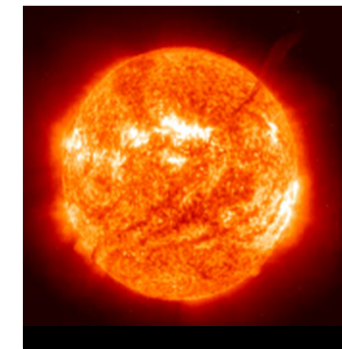


Vláknové lasery $mW \rightarrow kW$



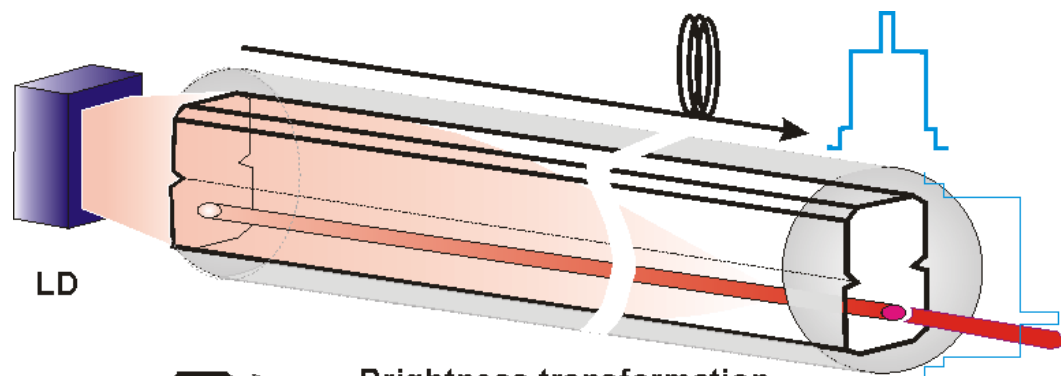
Intenzita světla

Slunce	63 MW/m ²
O. vlákno	12.7 GW/m ²



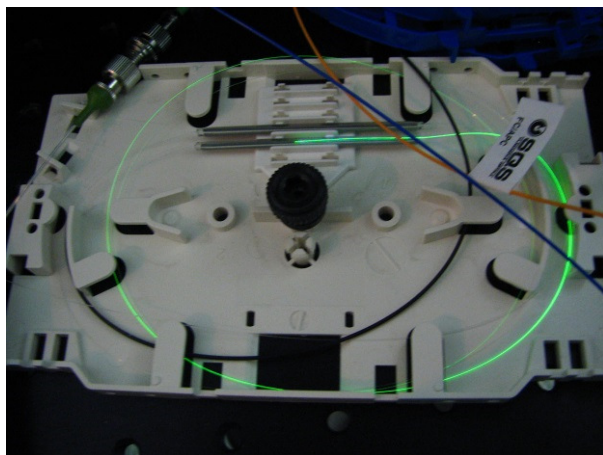
Beam combining, double-clad structures

Vláknové lasery $mW \rightarrow kW$

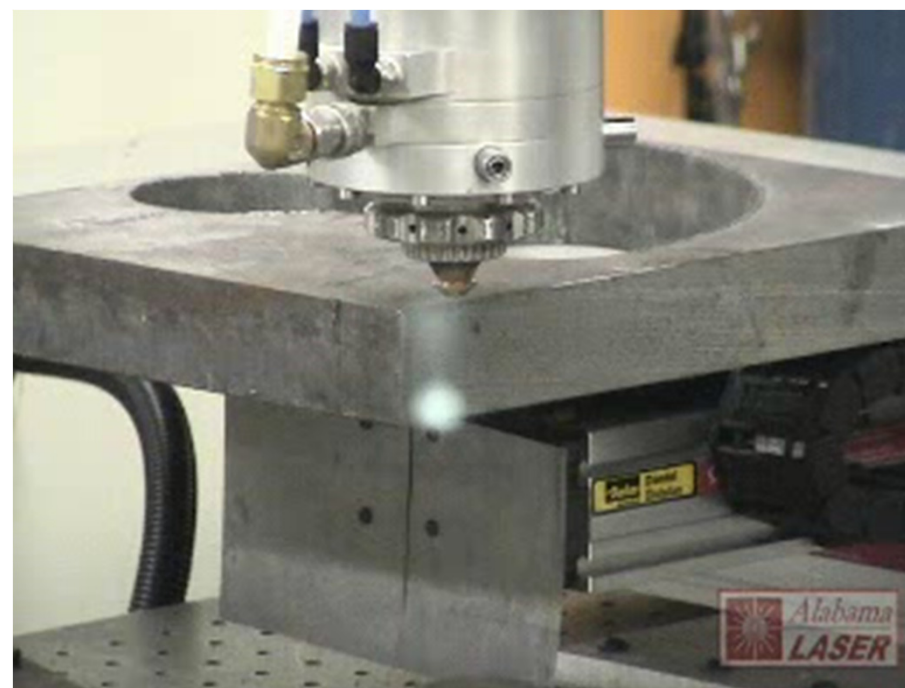


[Peterka, Kasik, CZ Pat.301215]

[IPGphotonics.com]



Er/Yb - fiber laser



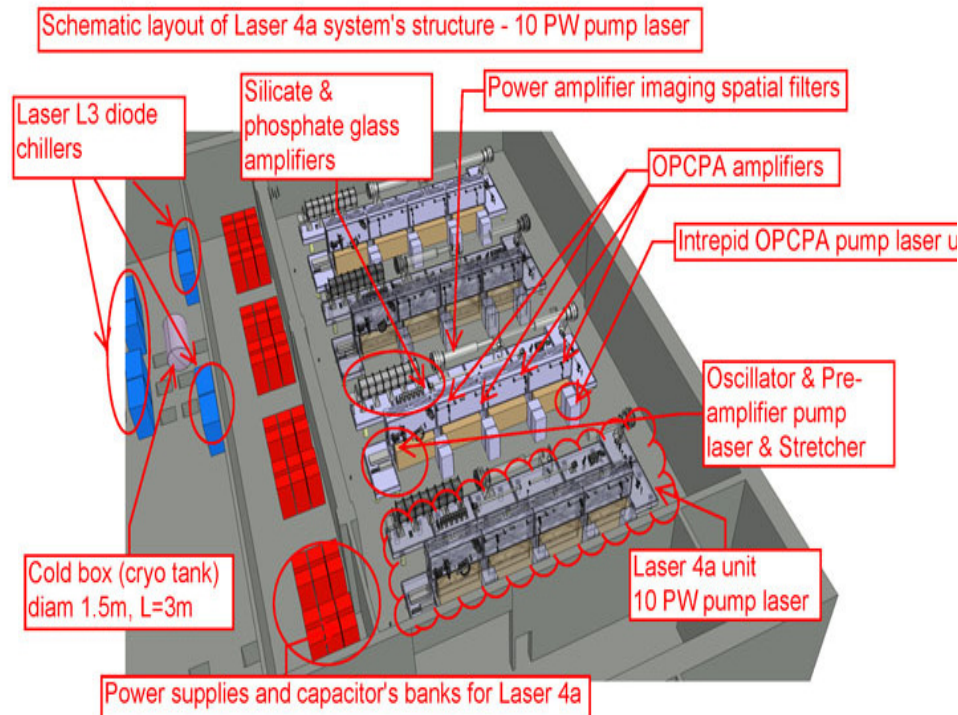
Svařování a řezání < 2kW

Vláknové a klasické pevnolátkové lasery

5 PW / 25x25 cm

ELI Beamlines [10^{15} W/ μm^2]

fs pulsy



← 100 m →

CHLAZENÍ

40-100 kW / 10 μm^2

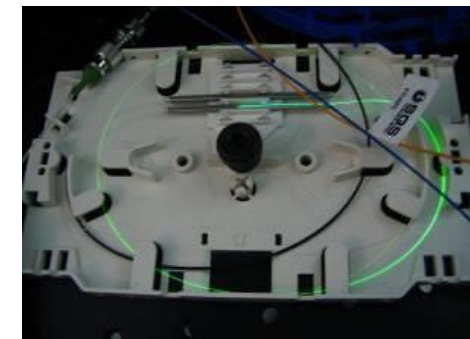
IPG Photonics [10^{15} W/ μm^2]

CW; flexibilita



← 1-2 m →

[eli-beams.eu , IPGphotonics.com]



← 0.1 m →

KOMPLEMENTARITA

Optická vlákna ...

Speciální optická vlákna srdce vláknových laserů

Obsah **iontů vzácných zemin** (erbium, thulium ...) & **čistota materiálu** (minimální ztráty, zahřívání)

Útlum optických vláken

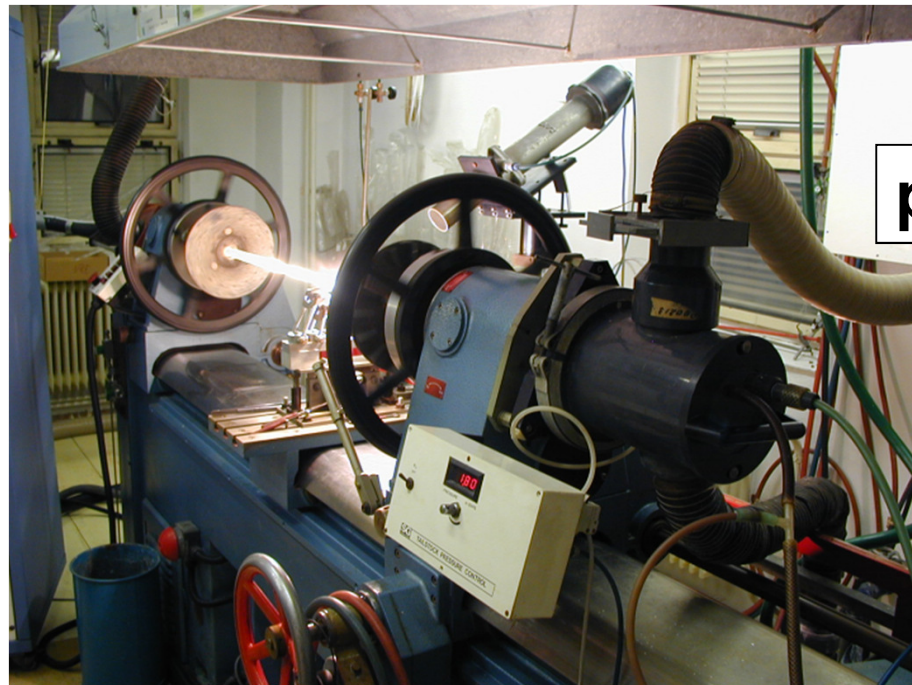
- nejlepší vlákna **0.2 dB/km** ~ ztráta ~5% výkonu na 1 km
- 1.5 mm okenního skla odpovídají cca 1 km optického vlákna

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



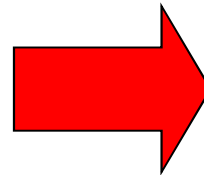
ULTRA ČISTÉ TECHNOLOGIE

Příprava optických vláken

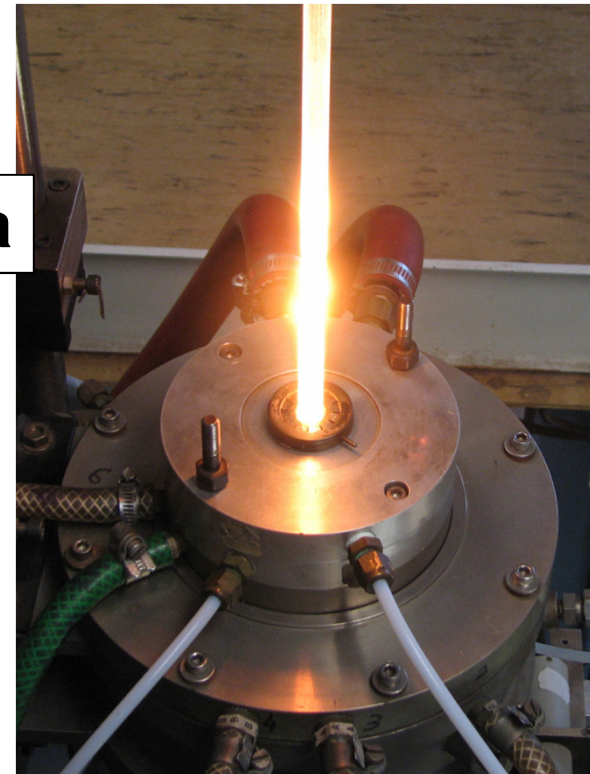


MCVD

preforma



Tažení

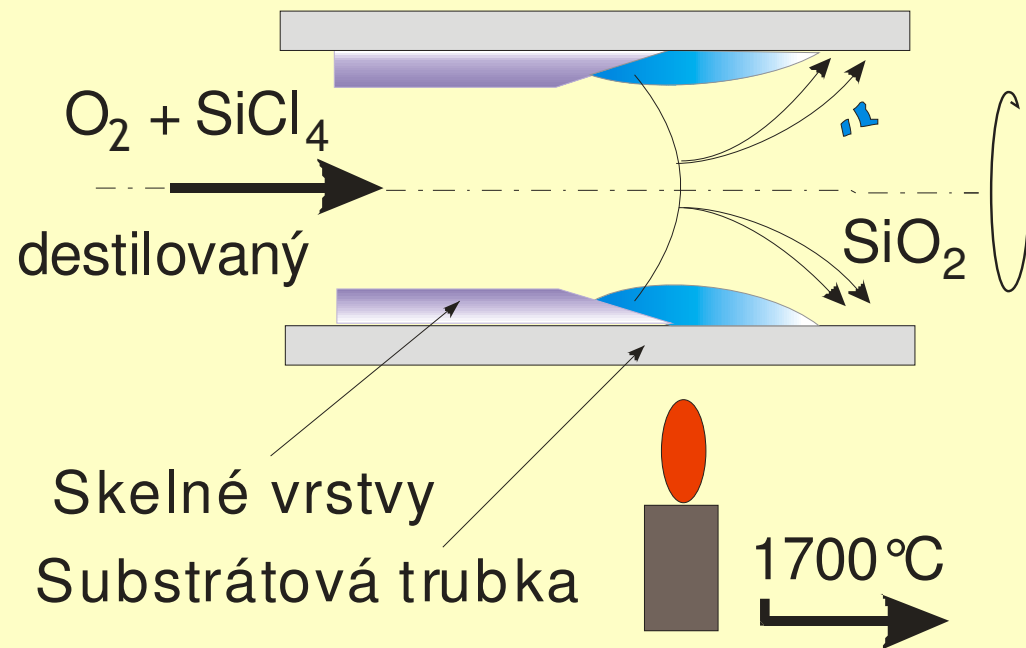


Corning : 1974
AV ČR: 1981

MCVD → Preforma

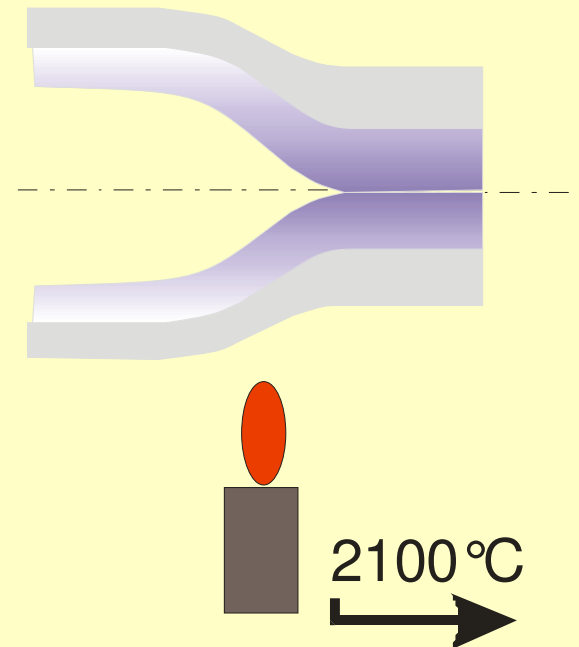
1. Depozice vrstev

SMĚS PLYNŮ



2. Kolaps

SKLO - PREFORMA



- Depozice z plynné fáze : **destilované** (čisté) výchozí látky
- **Vysoká čistota** ($\sim 10^1$ ppb nečistot), **vysoká přesnost** (>1 %)

MCVD → Preforma

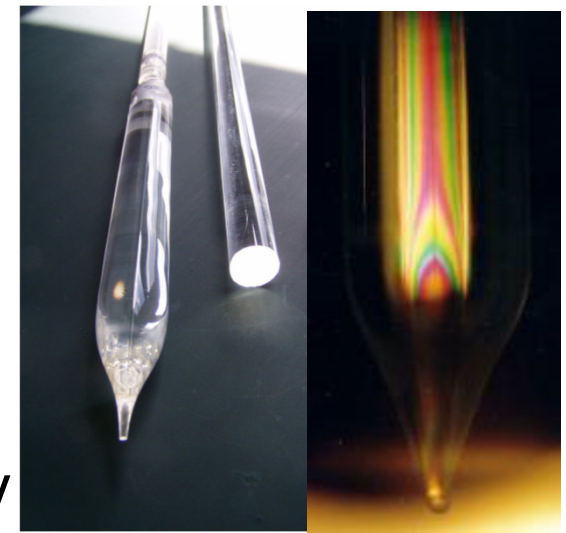


Destilované
halogenidy

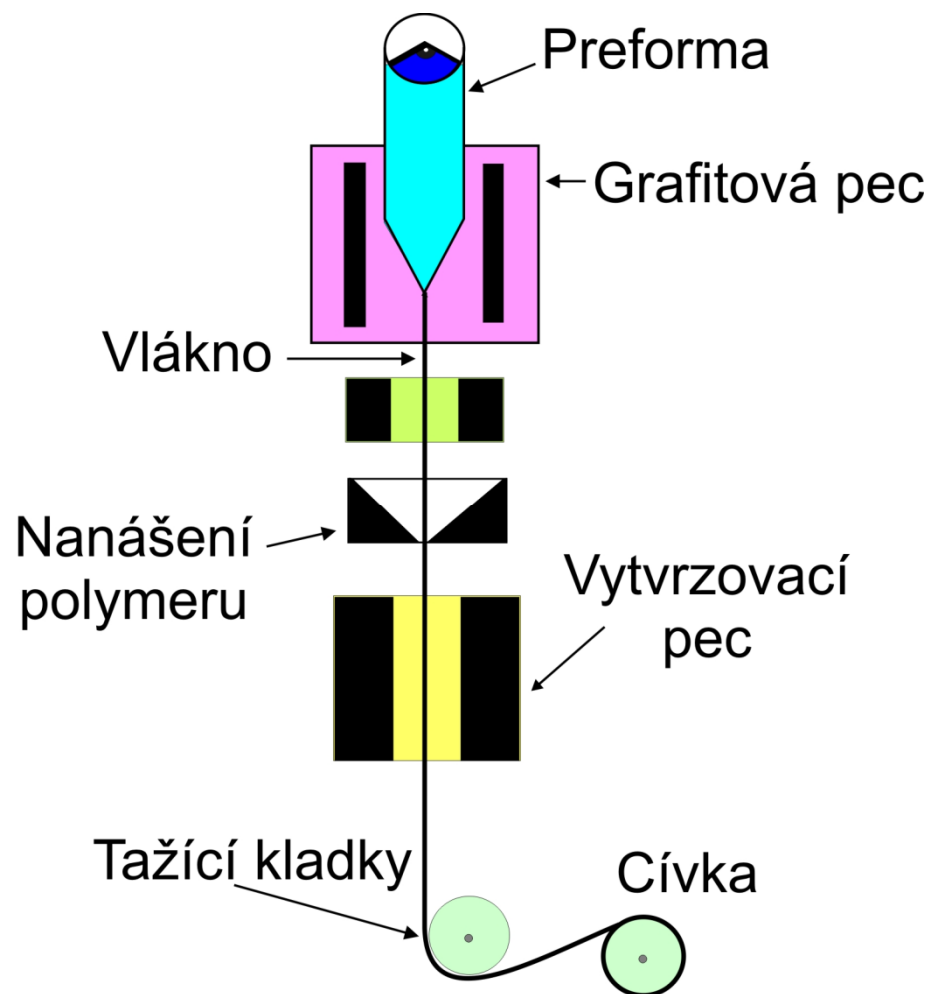
Depozice
vrstev

Kolaps
preformy

Preformy



Tažení optického vlákna z preformy

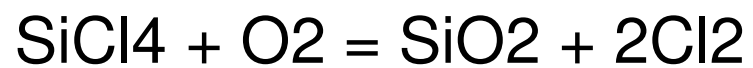
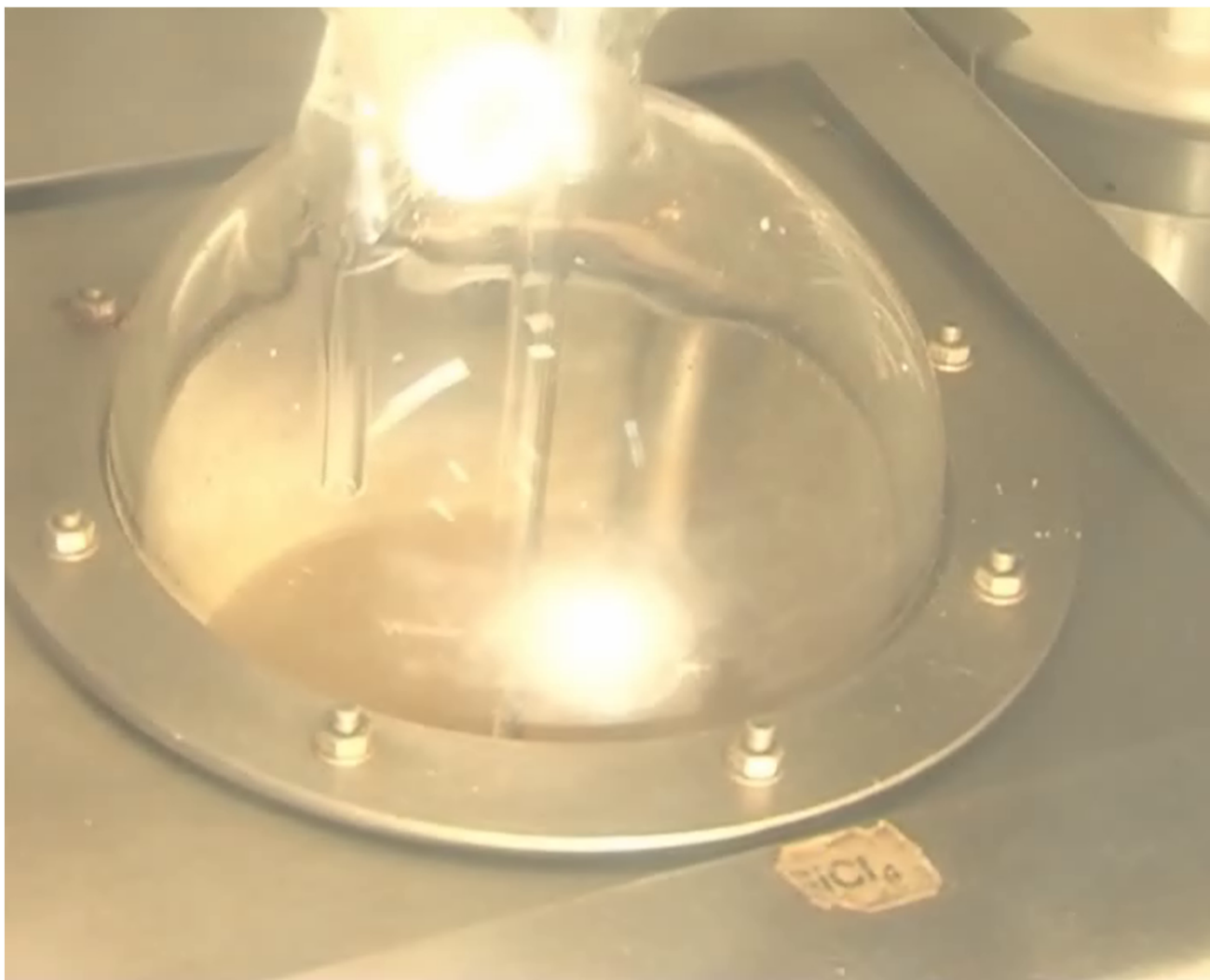


- Průměr vlákna
80-1000 μm

- Teplota
1800-2000°C

- **NE tkaní**
 - (textil)
- **NE rozvlákňování**
 - (skelná vata, nanovlákna)

Příprava optických vláken



Vlákový laser – průmyslové sváření



[IPGphotonics.com]

I TY se staň FOTONIKEM ! (UFEm)

- **STUDIUM** (PGS, post-doc)

ČVUT – FJFI, FEL

UK – MFF, PŘF

VŠCHT, VUTBr

- **PROJEKTY – PARTNEŘI**



OptiXs

MATEX PM

HiLASE

Meopta



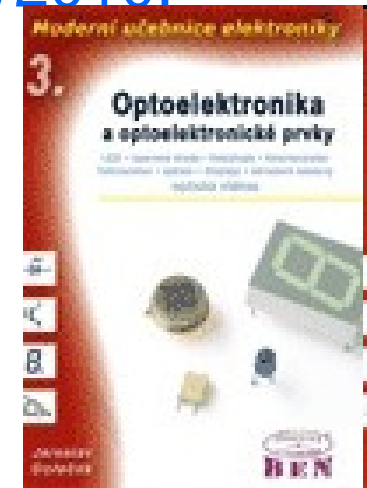
Fyzikální ústav
Akademie věd ČR, v. v. i.



FOTON

Literatura

- Vlákňové lasery – edice AV
- ČT-D Lovci záhad: Srdce superlaseru, 1/6/2014
- **Československý časopis pro fyziku** 1/2010, 4-5/2010, 1/2011
- **Jemná mechanika a optika (5-6/2015)**
- Sdělovací technika 3/2011
- Panorama 21. století 3/2012
- ČT2 – PORT : Co dokážou lasery - 29/9/2010
- ČT2 – Věda a vědci : Zkrocené světlo - 6/10/2010



- **J. M. Senior** : Optical fiber communications - Principle and practise, Pearson Education Limited, Harlow, England, 2009.
- **A. Mendez, F.T. Morse** : Specialty optical fibers handbook, Elsevier Science & Technol, USA, 2006
- **J. Schrofel, K. Novotný** : Optické vlnovody, SNTL, 1986
- **Saaleh**, Fotonika (1 - 4), Matfyzpres

Poděkování

Děkuji za pozornost

Prof. Tománkovi
za pozvání na Optoniku

Týmu FILANO =>

a za finanční podporu

- EU Commission
- Akademie věd ČR
- Grantová agentura ČR
- Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR

