



OPTOELEKTRONIKA

OPTICKÉ VLÁKNA A KÁBLE

Dr.h.c. Prof.RNDR.Ing. Ján TURÁN, DrSc.

Department of Electronics and Multimedia Communications
Faculty of Electrical Engineering and Informatics
University of Technology Košice, Letná 9, 042 00 Košice,
Slovakia

Tel. ++ 421 55 602 29 43, E-mail: jan.turan@tuke.sk

4 OPTICKÉ VLÁKNA A KÁBLE

4.1 VÝROBA OPTICKÝCH VLÁKIEN

Technológie výroby OV :

1. Výroba čistého skla (preformy)
2. Ťahanie OV

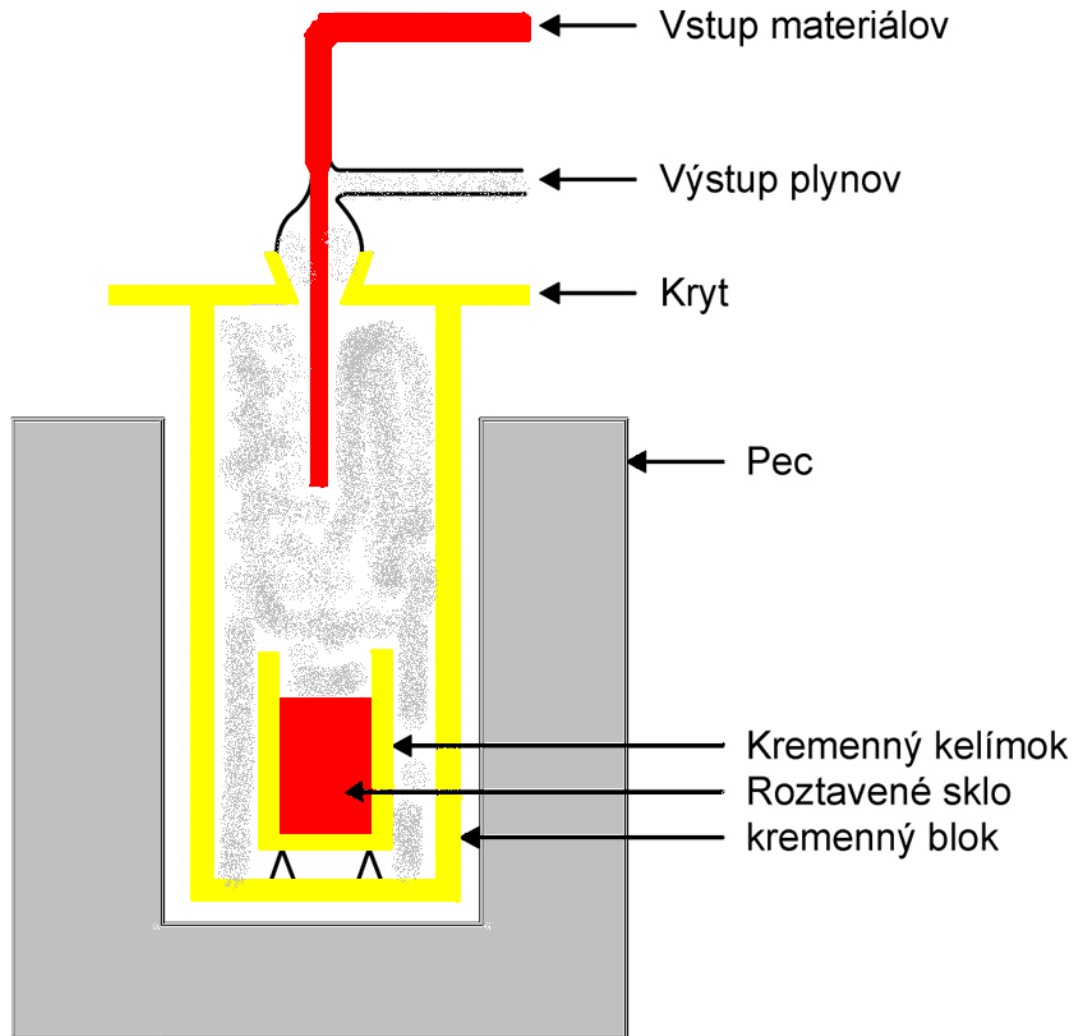
- Konvenčné technológie
- Technológie využívajúce usadzovanie (depozíciu) z plynnej fázy

4.1.1 VÝROBA PREFORMY TAVENÍM

- Práškové materiály SiO_2 , GeO_2 , B_2O_2 , Al_2O_3 , Na_2CO_3 , K_2CO_3 , CaCO_3 a BaCO_3
- Čistota 20 častíc z 10^9
- Tavenie pri teplote 900 až 1300 °C
- Stuhnutie do formy tyčinky – **preformy**

4.1 VÝROBA OPTICKÝCH VLÁKIEN

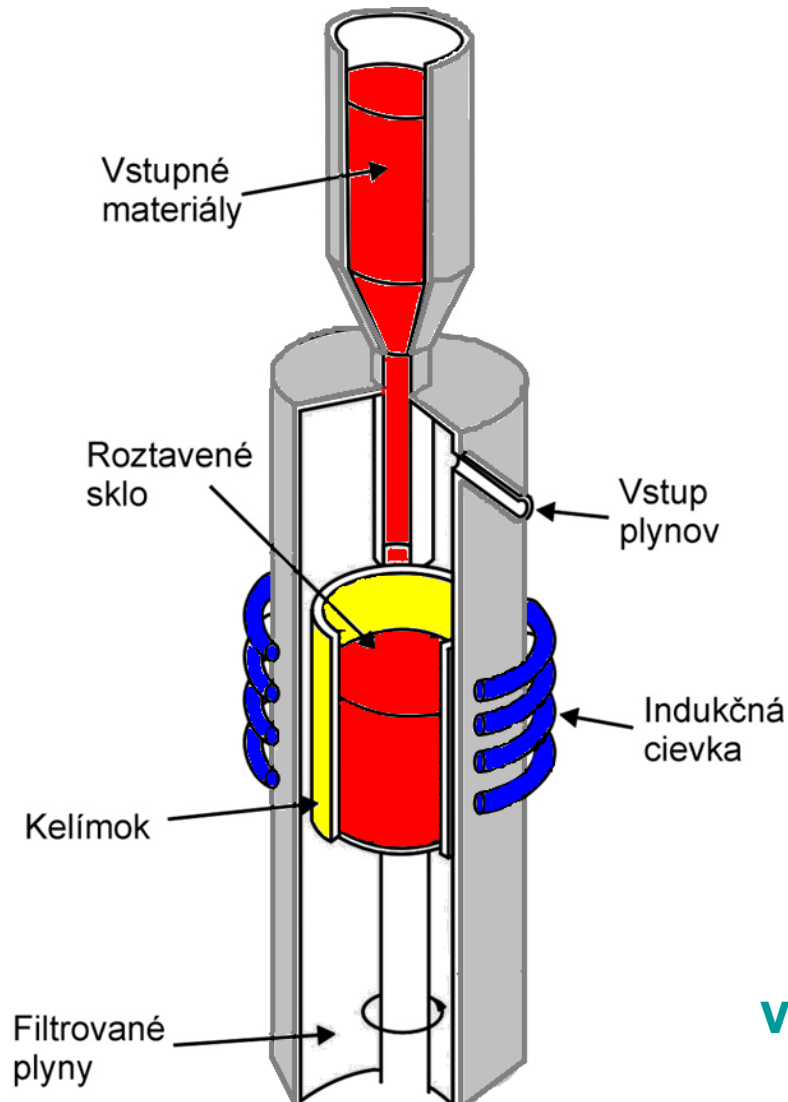
4.1.1 VÝROBA PREFORMY TAVENÍM



Obr. 4.1 Taviaca pec na výrobu veľmi čistých skiel.

4.1 VÝROBA OPTICKÝCH VLÁKIEN

4.1.1 VÝROBA PREFORMY TAVENÍM



Obr. 4.2
Výroba veľmi čistých skiel použitím
mikrovlnovej indukčnej pece.

4.1 VÝROBA OPTICKÝCH VLÁKIEN

4.1.2 VÝROBA PREFORMY USADZOVANÍM Z PLYNNEJ FÁZY

- **Oxidácia** prchavých halogenidov (SiCl_4 , GeCl_4 , SiF_4 , BCl_3 , BBr_3 , POCl_3)
- Čistota lepšia ako 1 častica z 10^9 častíc
- Zmeny indexu lomu – **dopanty** (TiO_2 , GeO_2 , P_2O_5 , Al_2O_3 , B_2O_3 a F)

1. Hydrolýza v plameni

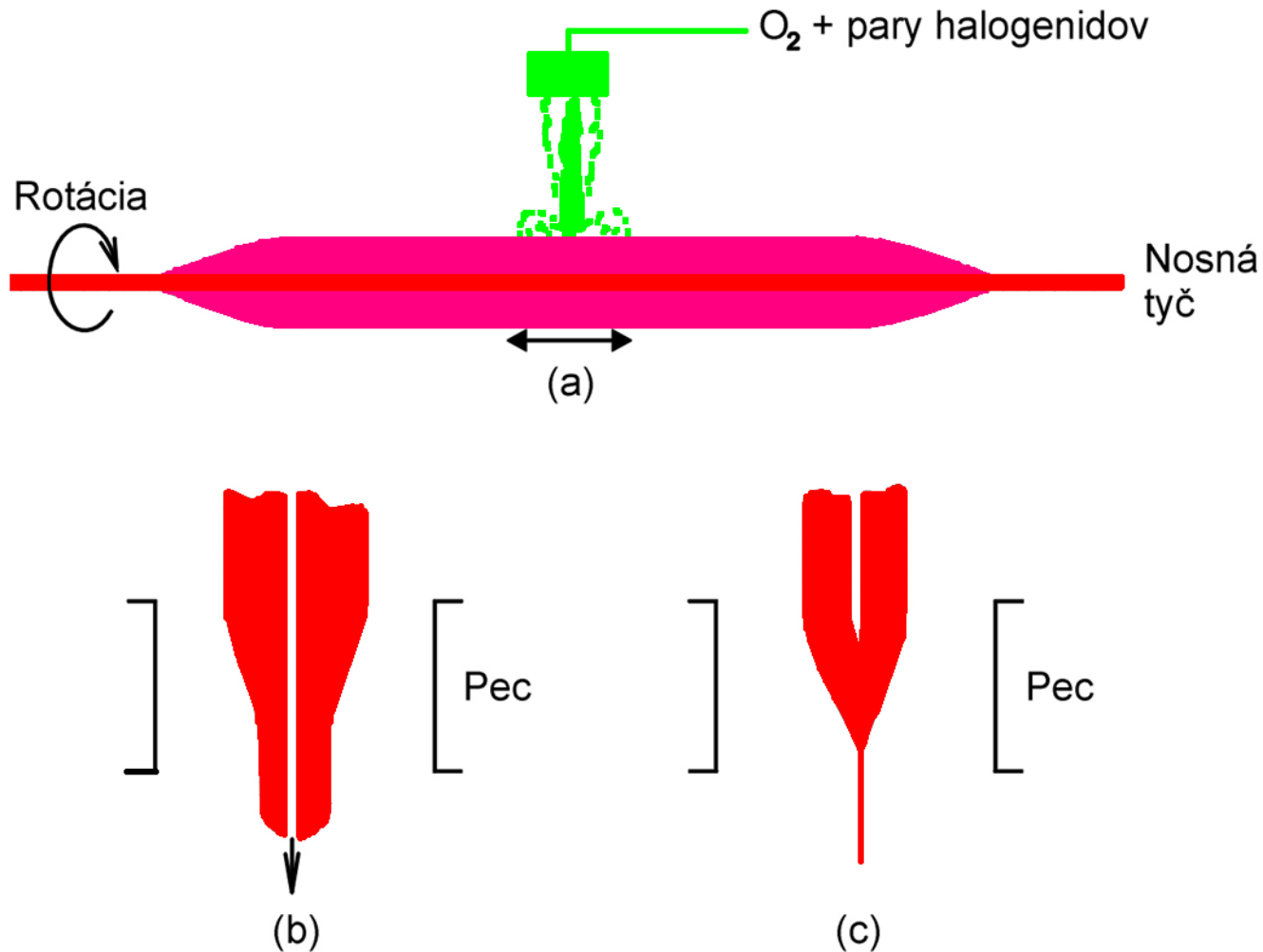
- **VAD** (Vapor Axial Deposition – axiálne usadzovanie z plynnej fázy)
- **OVPO** (Outside Vapor Phase Oxidation – vonkajšie usadzovanie z plynnej fázy)

2. Chemické usadzovanie z plynnej fázy

- **MCVD** (Modified Chemical Vapor Deposition – modifikované chemické usadzovanie z plynnej fázy)
- **IVPO** (Inside Vapor Phase Oxidation – vnútorné usadzovanie z plynnej fázy)
- **PCVD** (Plasma – Activated Chemical Vapor Deposition – plazmou aktivované chemické usadzovanie z plynnej fázy)

4.1 VÝROBA OPTICKÝCH VLÁKIEN

4.1.2 VÝROBA PREFORMY USADZOVANÍM Z PLYNNEJ FÁZY



Obr. 4.3 Výroba OV metódou OVPO.

4.1 VÝROBA OPTICKÝCH VLÁKIEN

4.1.2 VÝROBA PREFORMY USADZOVANÍM Z PLYNNEJ FÁZY

- **Metóda OVPO**



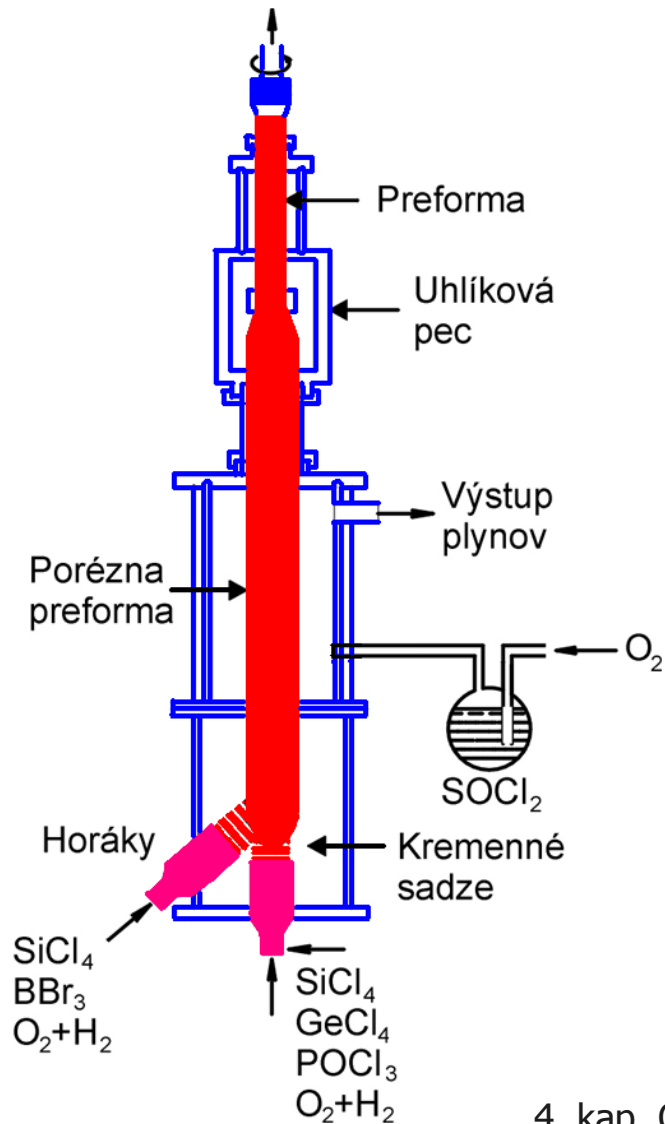
- **Dopanty**



- Tenké vrstvy – okolo 200
- Z jednej preformy – okolo 10 km **OV**
- $B_{\text{opt}} \cdot L$ okolo 3 GHz.km
- Tlmenie 1 dB.km⁻¹ pri $\lambda = 1,2 \mu\text{m}$ a 1,8 dB.km⁻¹ pri $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$

4.1 VÝROBA OPTICKÝCH VLÁKIEN

4.1.2 VÝROBA PREFORMY USADZOVANÍM Z PLYNNEJ FÁZY



Obr. 4.4
Výroba preformy metódou VAD.

4.1 VÝROBA OPTICKÝCH VLÁKIEN

4.1.2 VÝROBA PREFORMY USADZOVANÍM Z PLYNNEJ FÁZY

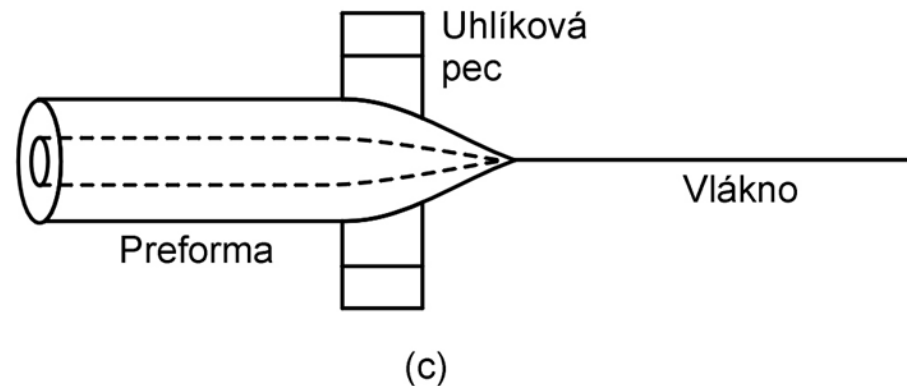
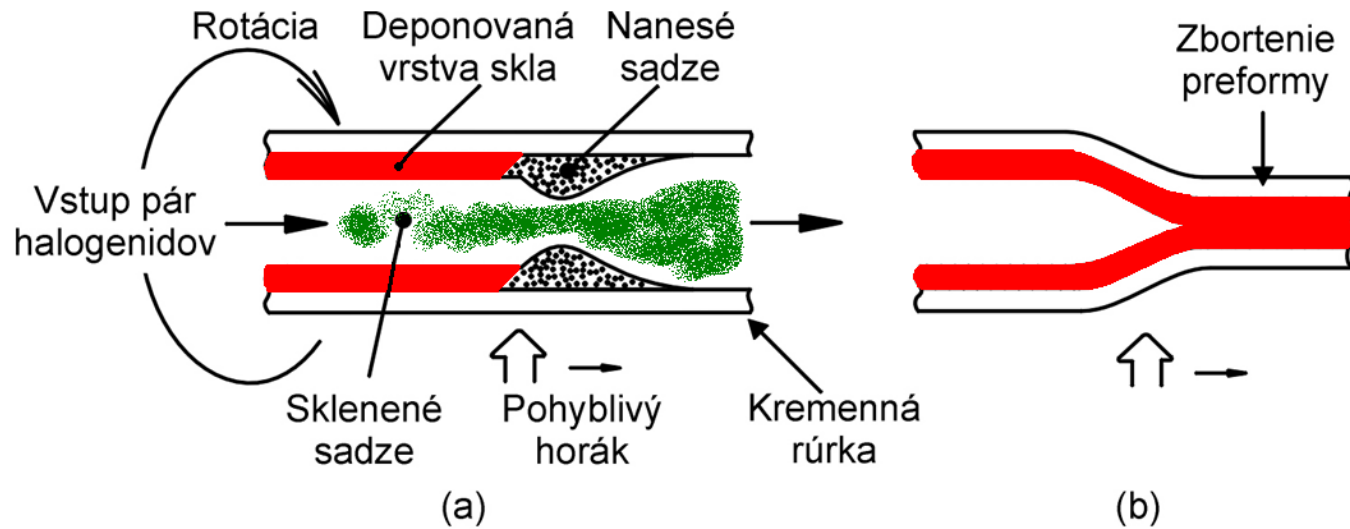
- **Metóda VAD** – usadzovanie sklenených sadzí na jeden koniec otáčajúcej sa poréznej preformy pri teplote 1500 °C



- Dopant (**GeCl₄**)
- Dosahované tlmenia pri $\lambda=1,18 \mu\text{m}$ sú od 0,7 do 2,0 dB.km⁻¹
- **Metóda MCVD**
- Teplota v reakčnom priestore 1400 °C až 1600 °C
- Dopanty **GeCl₄** a **POCl₃**
- Zošúverenie – 1700 °C až 1900 °C
- Ťahanie **OV** – 2000 °C až 2200 °C
- Minimálna hodnota tlmenia GeO₂ dopovaných **OV** je 0,2 dB.km⁻¹ pri $\lambda=1,55 \mu\text{m}$
- Typické hodnoty tlmenia sú 2,8; 0,45 a 0,35 dB.km⁻¹ pri $\lambda=0,82$; 1,3 až 1,5 μm
- B_{opt}·L pri $\lambda=1,25 \mu\text{m}$; 4,3 GHz.km pri $\lambda=1,29 \mu\text{m}$; 4,7 GHz.km

4.1 VÝROBA OPTICKÝCH VLÁKIEN

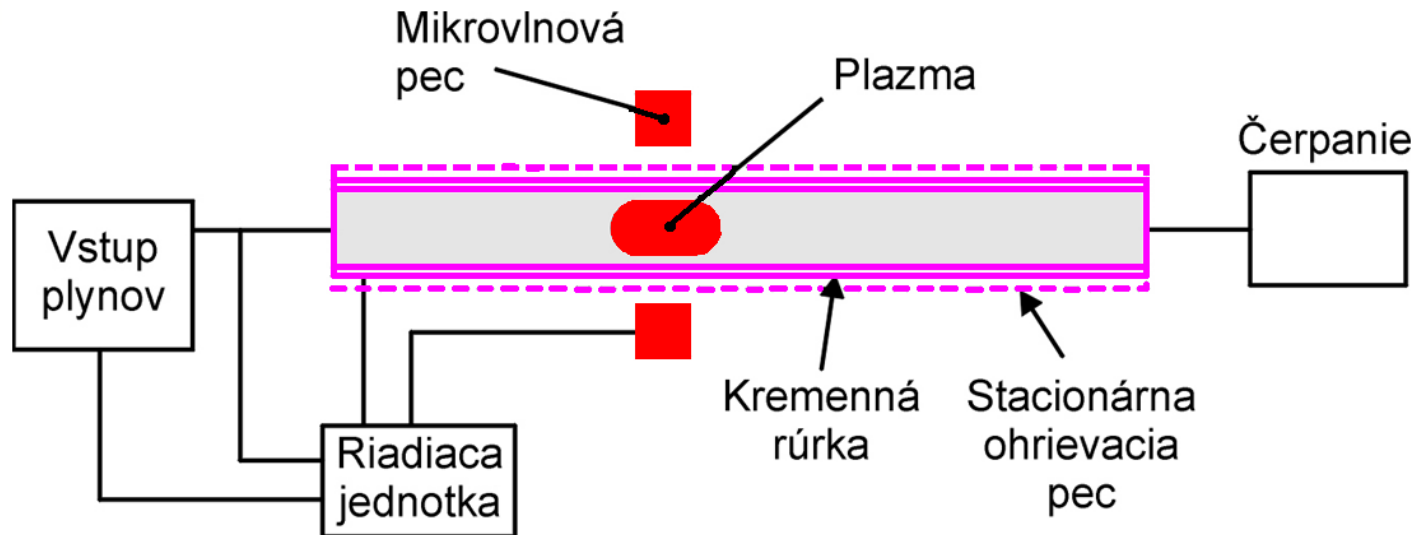
4.1.2 VÝROBA PREFORMY USADZOVANÍM Z PLYNNEJ FÁZY



Obr. 4.5 Výroba preformy metódou IVPO (MCVD).

4.1 VÝROBA OPTICKÝCH VLÁKIEN

4.1.2 VÝROBA PREFORMY USADZOVANÍM Z PLYNNEJ FÁZY



Obr. 4.6 Výroba preformy metódou PCVD

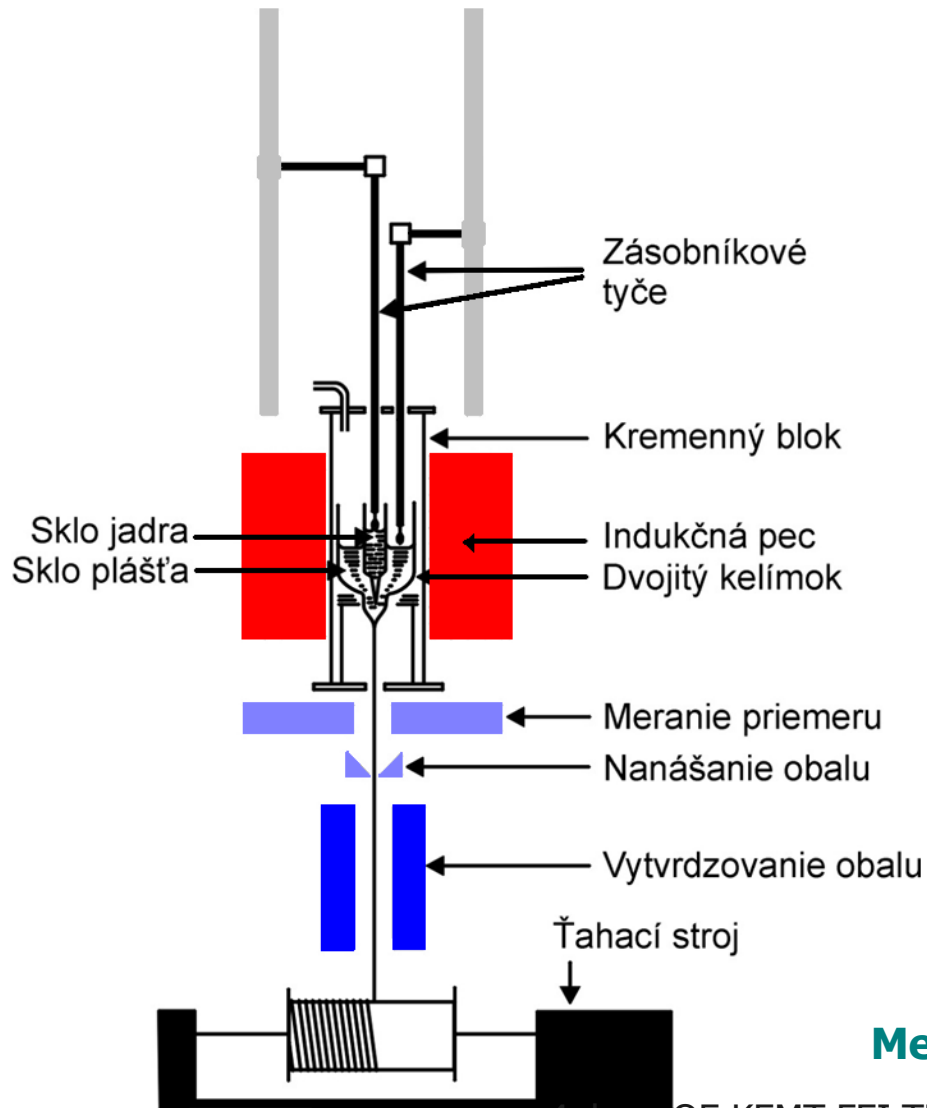
Metóda PCVD

- Mikrovlnová pec (frekvencia 2,45 GHz)
- Teploty okolo 500 °C
- 2000 vrstiev

4.1 VÝROBA OPTICKÝCH VLÁKIEN

4.1.3 ŤAHANIE OPTICKÝCH VLÁKIEN

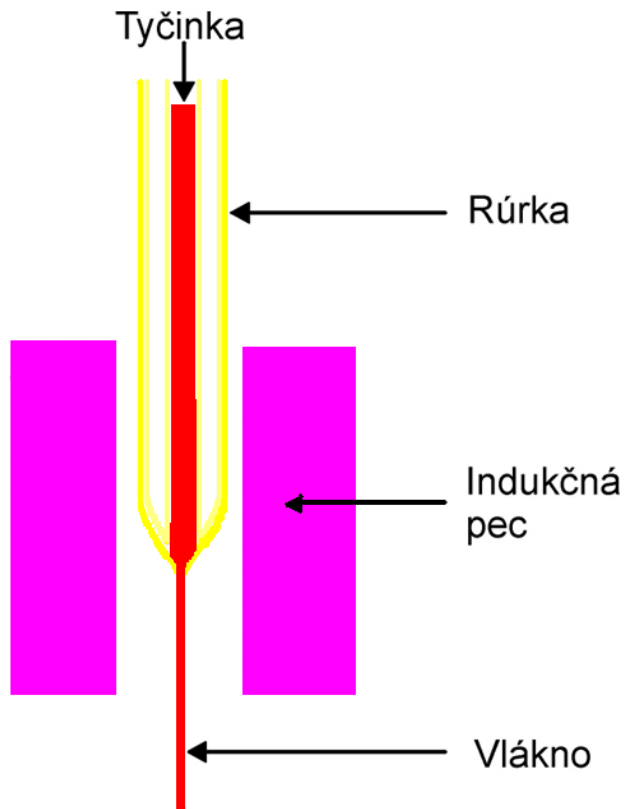
Obal



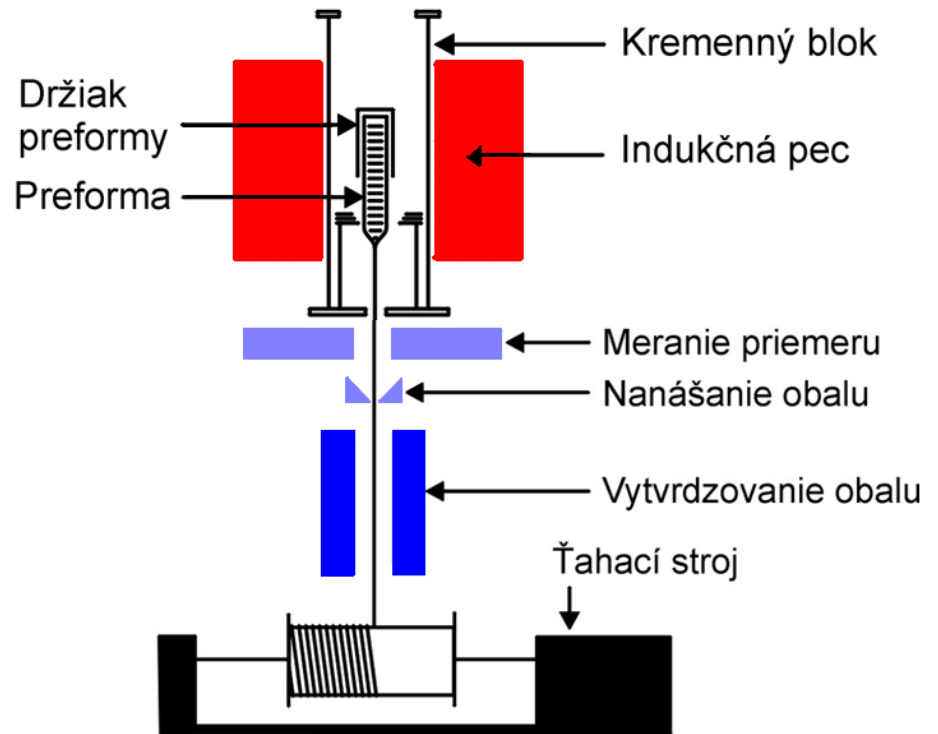
Obr. 4.7
Metóda dvojitého kelímka.

4.1 VÝROBA OPTICKÝCH VLÁKIEN

4.1.3 ŤAHANIE OPTICKÝCH VLÁKIEN



Obr. 4.8
Metóda tyčinka-rúrka.



Obr. 4.9
Ťahanie OV z preformy.

4.2 TYPICKÉ PARAMETRE OPTICKÝCH VLÁKIEN

4.2.1 MNOHOVIDOVÉ STUPŇOVITÉ OPTICKÉ VLÁKNA

Geometrická štruktúra:

- Priemer jadra: 40 až 400 μm
- Priemer plášťa: 125 až 500 μm
- Priemer ochranného obalu: 250 až 1000 μm
- Numerická apertúra: 0,16 až 0,5

Vlastnosti:

- **Tlmenie:** 4 až 50 dB.km^{-1} – ohraničená absorpciou alebo rozptylom a silne závisí od metódy výroby **OV** (pri $\lambda=0,85 \mu\text{m}$ pre mnohozložkové sklá $\alpha \sim 40 \text{ dB.km}^{-1}$ a pre dopované kremenné sklá je $\alpha \sim 5 \text{ dB.km}^{-1}$)
- **Šírka pásma. vzdialenosť:** 6 až 25 MHz.km
- **Aplikácie:** krátke vzdialenosti, obmedzená šírka pásma, nízka cena

4.2 TYPICKÉ PARAMETRE OPTICKÝCH VLÁKIEN

4.2.2 MNOHOVIDOVÉ GRADIENTNÉ OPTICKÉ VLÁKNA

Geometrická štruktúra:

- Priemer jadra: 30 až 60 μm , normalizovaná hodnota 50 μm pre telekomunikačné aplikácie
- Priemer plášťa: 100 až 150 μm , normalizovaná hodnota 125 μm pre telekomunikačné aplikácie
- Priemer ochranného obalu: 250 až 1000 μm
- Numerická apertúra: 0,2 až 0,3

Vlastnosti:

- **Tlmenie:** 2 až 10 dB.km^{-1} – ohraničené rozptylom
- **Šírka pásma. vzdialenosť:** 0,15 až 2 GHz.km
- **Aplikácie:** stredné vzdialenosti, stredná šírka pásma, použitie mnohovidových nekoherentných (**LED**) aj koherentných (**LD**) zdrojov svetla

4.2 TYPICKÉ PARAMETRE OPTICKÝCH VLÁKIEN

4.2.3 JEDNOVIDOVÉ OPTICKÉ VLÁKNA

Geometrická štruktúra:

- Priemer jadra: 3 až 10 μm
- Priemer plášťa: 50 až 125 μm
- Priemer obalu: 250 až 1000 μm
- Numerická apertúra: 0,08 až 0,15 obyčajne $\sim 0,10$

Vlastnosti:

- **Tlmenie:** 2 až 5 dB.km^{-1} – ohraničené rozptylom $\sim 1 \text{ dB.km}^{-1}$ pri $\lambda=0,85 \mu\text{m}$, $0,2 \text{ dB.km}^{-1}$ pri $\lambda=1,55 \mu\text{m}$
- **Šírka pásma. vzdialenosť:** 500 MHz.km (pri $\lambda=0,85 \mu\text{m}$ max. $\sim 40 \text{ GHz.km}$, pri $\lambda=1,55 \mu\text{m}$ max. $\sim 100 \text{ GHz.km}$)
- **Aplikácie:** veľmi veľké vzdialenosti, veľmi veľká šírka pásma, jednovidové lasery

4.2 TYPICKÉ PARAMETRE OPTICKÝCH VLÁKIEN

4.2.4 OPTICKÉ VLÁKNA S PLASTOVÝM PLÁŠŤOM

Geometrická štruktúra:

- Priemer jadra:
 - stupňovité 100 až 500 μm
 - gradientné 50 až 100 μm
- Priemer plášťa:
 - stupňovité 300 až 800 μm
 - gradientné 125 až 150 μm
- Priemer obalu:
 - stupňovité 500 až 1000 μm
 - gradientné 250 až 1000 μm
- Numerická apertúra:
 - stupňovité 0,2 až 0,5
 - gradientné 0,2 až 0,3

Vlastnosti:

- **Tlmenie:**
 - stupňovité 5 až 50 dB.km^{-1}
 - gradientné 4 až 15 dB.km^{-1}
- **Šírka pásma. vzdialenosť:**
 - stupňovité 5 až 25 MHz.km
 - gradientné 200 až 400 MHz.km
- **Aplikácie:** krátke vzdialenosti, malá šírka pásma, nízka cena, jednoduché ukončenie **OV**

4.2 TYPICKÉ PARAMETRE OPTICKÝCH VLÁKIEN

4.2.5 CELOPLASTOVÉ OPTICKÉ VLÁKNA

Geometrická štruktúra:

- Priemer jadra: 200 až 600 μm
- Priemer plášťa: 450 až 1000 μm
- Numerická apertúra: 0,5 až 0,6

Vlastnosti:

- **Tlmenie:** 350 až 1000 dB.km^{-1} (pri $\lambda=0,65 \mu\text{m}$)
- **Šírka pásma. vzdialenosť:** nie je obyčajne uvádzaná, pretože prenos je ohraničený na vzdialenosť desiatok m
- **Aplikácie:** veľmi krátke vzdialenosti, veľmi nízka cena, jednoduché a lacné ukončenie **OV**

4.3 OPTICKÉ KÁBLE

4.3.1 ŤAHOVÁ SILA KÁBLA

1. Ochrana OV
2. Stabilizácia prenosových charakteristík OV
3. Ťahová sila kábla
4. Identifikácia a hromadné spojenie OV

- Teoretická sila súdržnosti (**kohezívna sila**)

$$S_t = \sqrt{\frac{\gamma_p E}{4l_a}}$$

γ_p – povrchová energia materiálu, E – Youngov modul pružnosti a l_a – vzájomná vzdialenosť atómov.

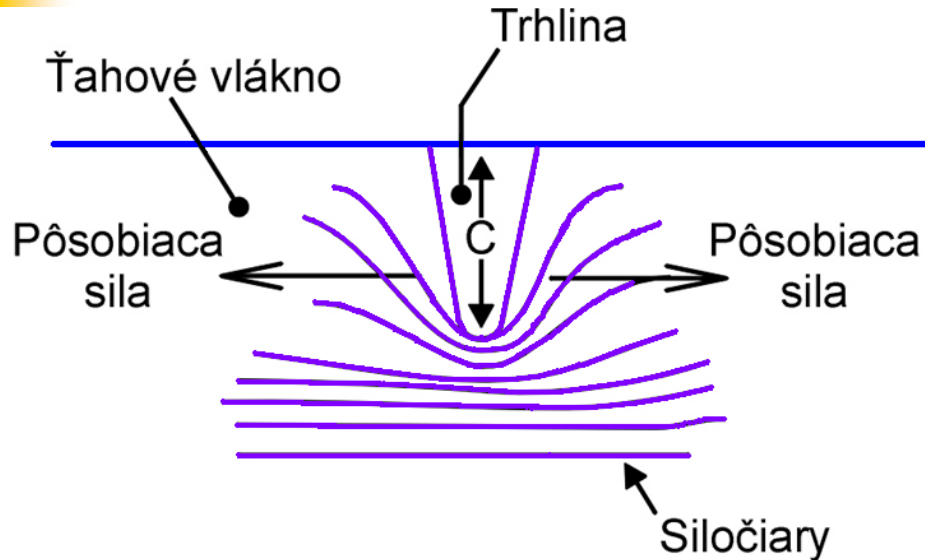
- **Intenzita mechanického napätia v trhline**

$$K_I = SY\sqrt{C}$$

S – makroskopické napätie **OV**, Y – konštanta určená tvarom trhliny (napr. $Y=$ pre trhlinu eliptického tvaru) a C je hĺbka trhliny

4.3 OPTICKÉ KÁBLE

4.3.1 ŤAHOVÁ SILA KÁBLA



Obr. 4.10
Eliptická povrchová trhlina OV.

- **Kritická intenzita
mechanického napätia**

$$K_{IC} = \sqrt{2E\gamma_p}$$

- **Griffithov vzťah**

$$S_f = \sqrt{\frac{2\gamma_p E}{Y^2 C}}$$

4.3 OPTICKÉ KÁBLE

4.3.1 ŤAHOVÁ SILA KÁBLA

Napät'ová korózia OV

- **Pravdepodobnosť pretrhnutia OV**

$$F = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{S}{S_0} \right)^m \left(\frac{L}{L_0} \right) \right\}$$

- **Rýchlosť narastania trhliny**

$$v_c = AK_I^n$$

4.3 OPTICKÉ KÁBLE

4.3.2 PRÍKLADY KONŠTRUKCIE OPTICKÝCH KÁBLOV

Optický kábel pozostáva:

- Z jedného alebo viacerých optických vlákien
- Žily s kovovými vodičmi
- Z nosných a ťahových prvkov
- Z ďalších výplňových a obalových vrstiev

Typy optických káblov:

1. Jednotlivé optické vlákna
 2. Ploché optické káble
- Samonosné optické káble
 - Dielektrické ťahové prvky - **celodielektrické optické káble**

4.3 OPTICKÉ KÁBLE

4.3.2 PRÍKLADY KONŠTRUKCIE OPTICKÝCH KÁBLOV

- Testovanie meraním optických strát
- Metóda optickej reflektometrie

OTDR (**Optical Time Domain Reflectometer**)

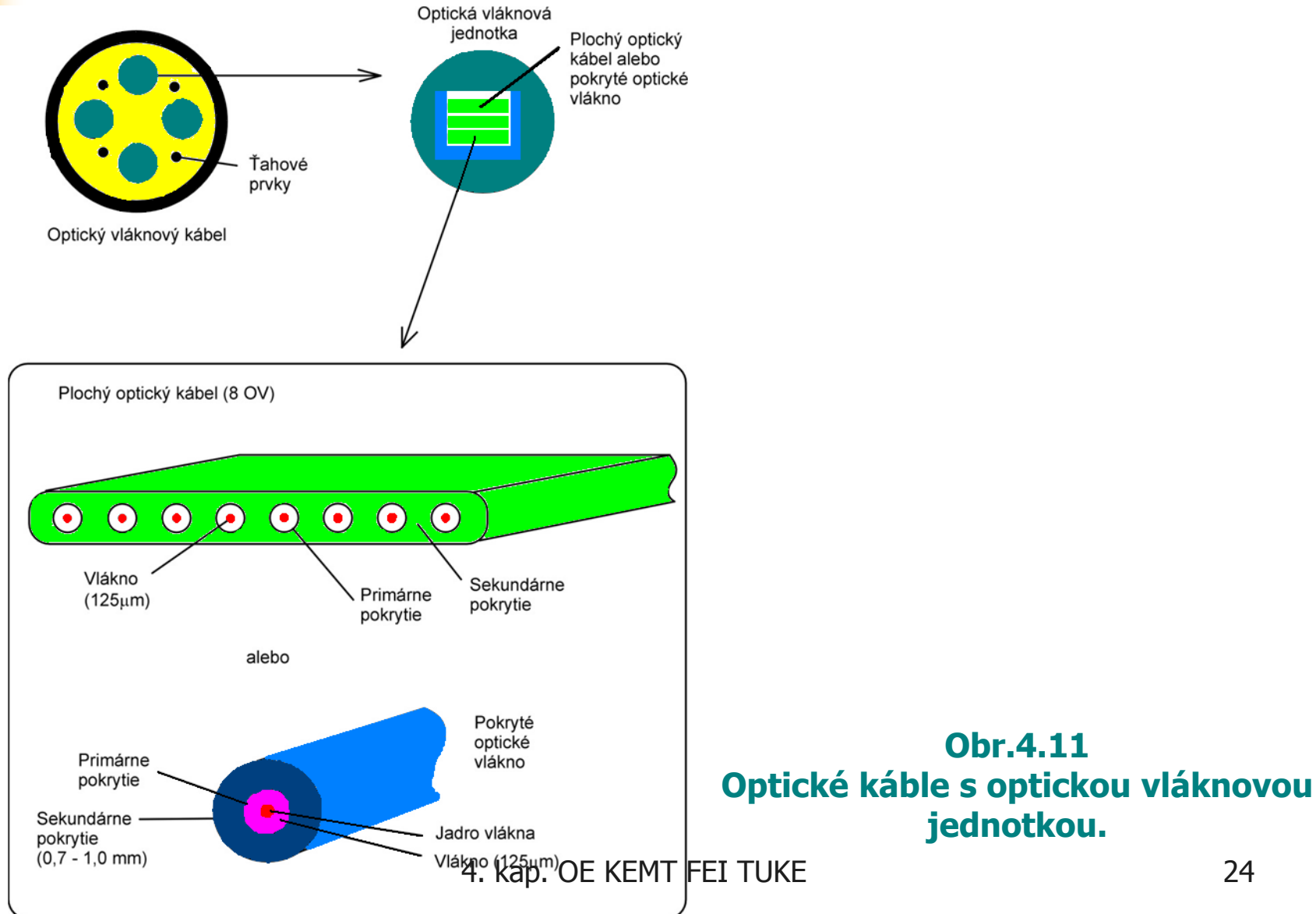
POROVNANIE OPTICKÝCH A KOVOVÝCH KÁBLOV

| | 100 - vlákňový optický kábel | 1.000 – vlákňový optický kábel | Optický versus Kovový kábel * |
|--------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Vonkajší priemer | ~ 15 mm | ~ 40 mm | ~ 1/3 – 1/2 |
| Hmotnosť | ~ 0,2 kg/m | ~ 1,4 kg/m | ~ 1/15 – 1/8 |
| Prenosové straty # | | | ~ 1/1.000 |

* keď porovnáваме 100 - párový a 1.000 - párový kovový kábel
Predpokladaná prenosová rýchlosť je 100 MB/s

4.3 OPTICKÉ KÁBLE

4.3.2 PŘÍKLADY KONŠTRUKCIE OPTICKÝCH KÁBLŮV



Obr.4.11
Optické káble s optickou vláknovou jednotkou.