

# **2 INTEGROVANÁ OPTIKA**

**Dr.h.c. Prof. Ing. RNDr. Ján Turán, DrSc.**

# 2 Úvod

- **Integrovaná optika-**

Technológia vytvárania kompaktných optoelektronických systémov, tvorených väčším počtom mikrominiaturných optických, či elektronických prvkov

- **Výhodné vlastnosti**

- **Malý budiaci výkon**
- **Kompaktná konštrukcia**
- **Nízka cena**
- **Väčšia rýchlosť**
- **Veľmi veľká šírka pásma**
- **Necitlivosť na elektromagnetické rušenie**
- **Stabilita vlastností parametrov**
- **Vysoká spoľahlivosť**

- **Optické integrované obvody**

- **Planárne integrované obvody** - technológia tenkých vrstiev
- **Objemovo usporiadané integrované obvody** - epitaxné, resp. difúzne procesy
- **Hybridné integrované obvody** - združujú niekoľko technológií a usporiadaní IO

## 2.1 PLANÁRNE OPTICKÉ VLNOVODY

- **Svetlovodové štruktúry** - vlnovodové štruktúry - vytvorené na rovinnej podložke
- **Vedený vid**
  - Homogénna dielektrická vrstva
  - Nehomogénna vrstva
- **Planárny vlnovod** -  $n_1 > n_2 > n_3$   
Často -  $n_3 = n_0 = 1$ 
  - **Priestorové vidy**
  - **Substrátové vidy**
  - **Vedené vlny**

Vid s vidovým číslom  $m$  sa pri vlnovej dĺžke  $\lambda$  šíri len vtedy, ak je splnená nerovnosť

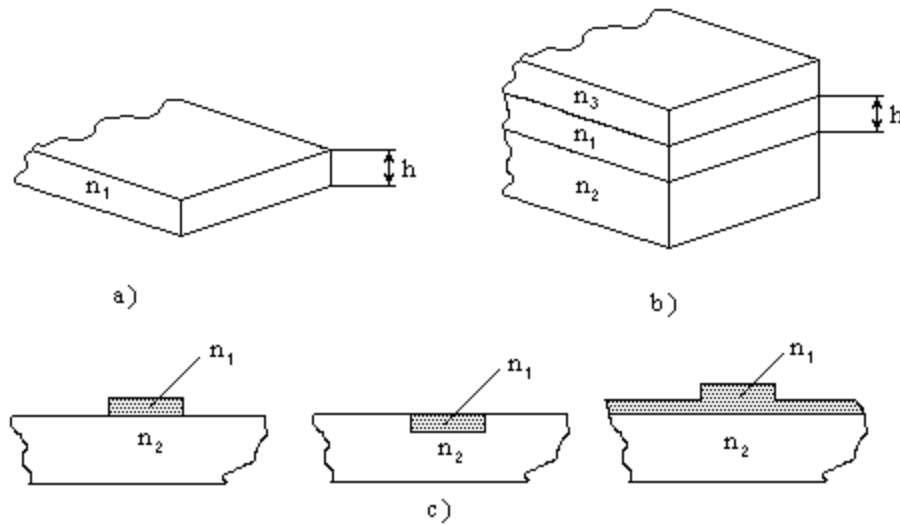
$$h \geq \frac{\left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda}{2\sqrt{n_1^2 - n_2^2}} \quad (2.1.1)$$

**Uvažujeme**

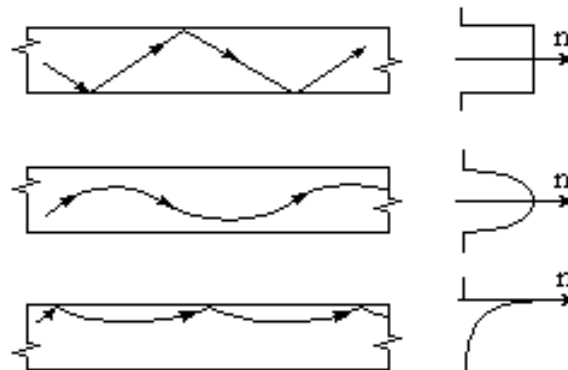
$$n_1 = 1,6$$

$$n_2 = 1,5$$

$$0,45\lambda \leq h \leq 1,35\lambda \quad (2.1.2)$$



**Obr. 2.1 Dielektrická vrstva v homogénnom, nehomogénnom dielektrickom prostredí a štruktúra planárnych vlnododov.**



**Obr. 2.2 Planárne vlnododové štruktúry.**

- **Efektívna výška** vlnovodovej vrstvy

$$H_{ef} = h + x_2 + x_3 \quad (2.1.3)$$

$x_2$  a  $x_3$  sú hĺbky prieniku **evanescentného poľa** do podložky a pokrytia

- **Normovaná efektívna hrúbka**

$$H = kh_{ef} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad k = 2\pi/\lambda \text{ je vlnové číslo} \quad (2.1.4)$$

- **Normovaná frekvencia**

$$(2.1.5)$$

**Miera asymetrie**

$$v = kh \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.1.6)$$

Minimálna efektívna hrúbka pre veľmi asymetrický vlnovod ( $a = \infty$ ) je

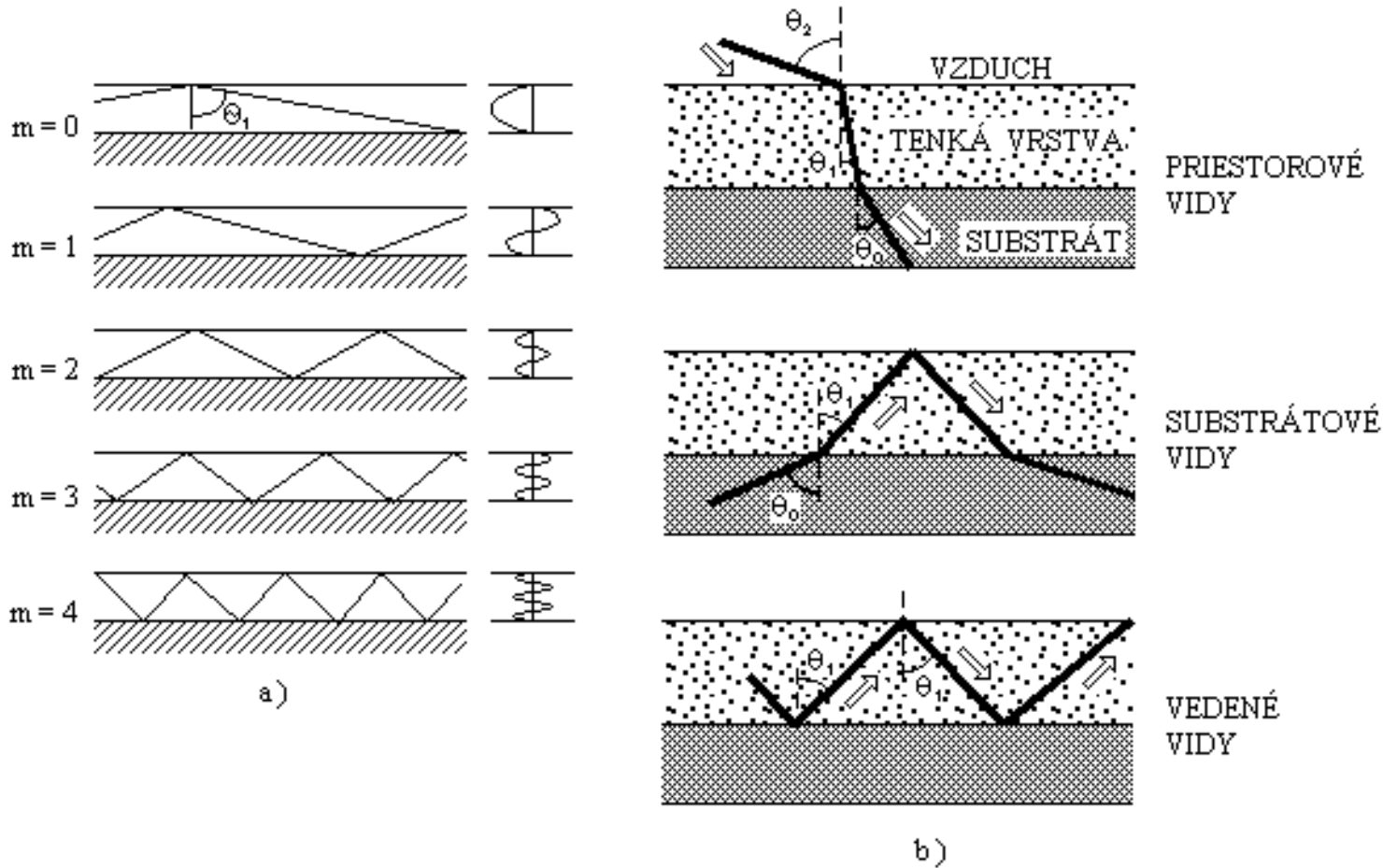
$$h_{min} = 4,4 \text{ pre } v = 2,55$$

$$a = \frac{n_2^2 - n_3^2}{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.1.7)$$

Ak  $n_1 = 1,6$  a  $n_2 = 1,5$ , potom je minimálna efektívna hrúbka vlnovodovej vrstvy

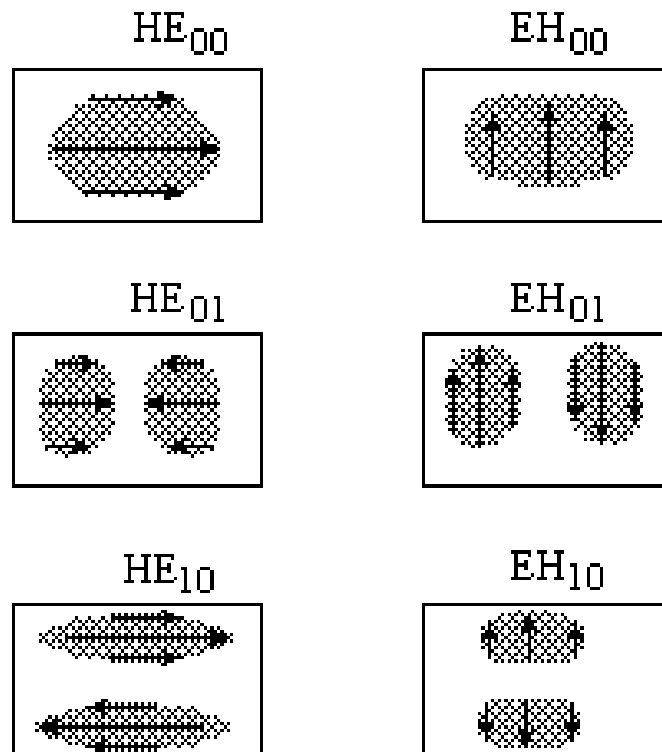
$$(h_{ef})_{min} = \frac{4,4}{k \sqrt{n_1^2 - n_2^2}} = \frac{0,7\lambda}{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}} \quad (2.1.8)$$

$$(h_{ef})_{min} = 1,26\lambda \quad (2.1.9)$$



**Obr. 2.3 Vznik vedených vidov v planárnom vlnovode.**

- **Rôzne elektrooptické alebo akustickooptické materiály**
  - **Materiály s indexom lomu okolo 2**  
( $\text{LiNbO}_3$ ,  $\text{LiTaO}_3$ ,  $\text{NbO}_5$ ,  $\text{ZnS}$  a  $\text{ZnO}$ )
  - **Materiály s indexom lomu väčším ako 3**  
( $\text{GaAs}$ ,  $\text{InP}$  a zlúčeniny Ga a In s prvkami ako Al, As a Sb)
- **Planárne vlnododové štruktúry sú vyrábané rôznymi technológiami**
  - **Naprašovaním vrstiev**
  - **Difúziou Ti do  $\text{LiNbO}_3$**
  - **Iónovou implantáciou do GaAs**
- **Vlnodod dvojrozmerný**
- **Vlnodod trojrozmerný**
- **Pásikové a kanálikové vlnodody**
  - **Dĺžka - niekoľko centimetrov**  
(typická dĺžka 0,5 až 10 mm)
  - **Tlmenie - od 0,5 do 5  $\text{dBcm}^{-1}$**



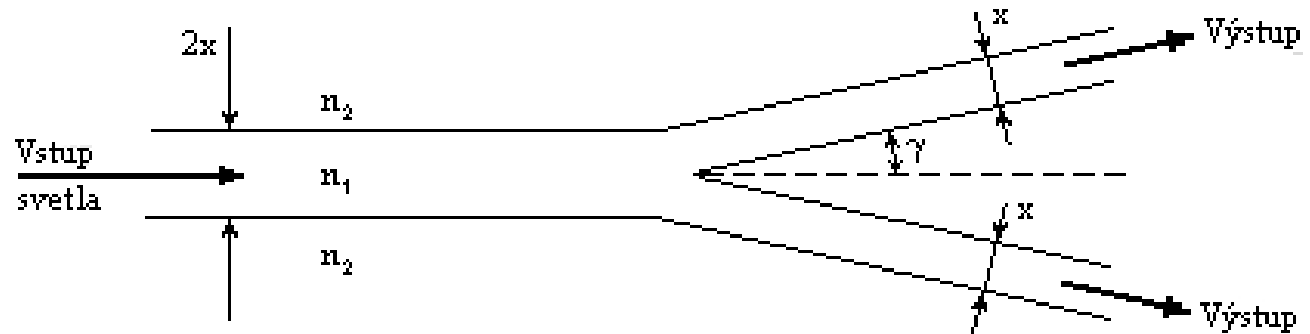
Obr. 2.5 Rozloženie intenzity elektrického poľa základných vidov v pásikovom vlnovode.



## 2.2 PŘÍKLADY OPTICKÝCH INTEGROVANÝCH OBVODOV

### Odbočnice v tvare Y

- **Pasívna odbočnica tvaru Y**
  - Na podložke z **LiNbO<sub>3</sub>**
  - $\gamma \leq 0,5^\circ$
  - **30  $\mu\text{m}$**  - 3000 vlnových dĺžok
  - Má veľkú dĺžku  $\sim 3 \text{ mm}$
  - **3 dB** odbočnica

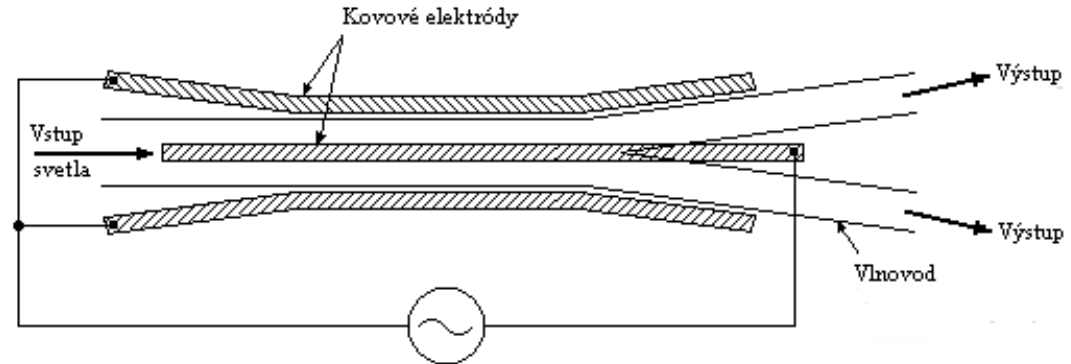


Obr. 2.6 Pasívna odbočnica tvaru Y.

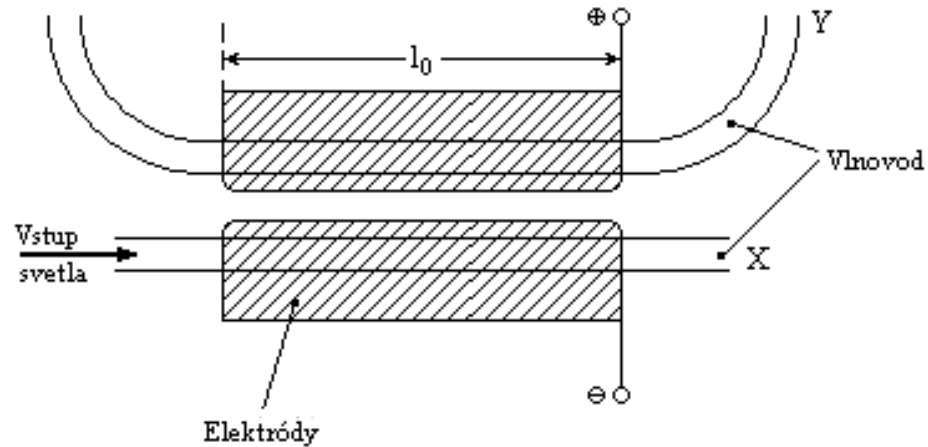
## • Aktívna odbočnica

$$\delta n = \pm n_1^3 r E$$

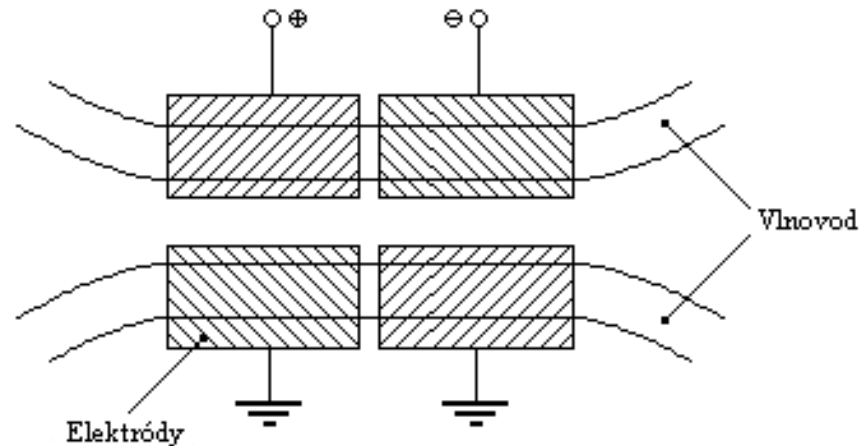
- $n_1$  - pôvodná hodnota indexu lomu
- $R$  - elektrooptický koeficient
- **LiNbO** – veľká hodnota elektrooptického koeficientu  
 $30,8 \cdot 10^{-12} \text{ mV}^{-1}$
- Hodnota riadiaceho napätia  $\sim 30 \text{ V}$



**Obr. 2.7 Elektrooptická odbočnica tvaru Y.**



**Obr. 2.8 Elektroopticky ovládaná smerová odbočnica.**



**Obr. 2.9 Elektrooptický prepínač COBRA s rozdelenými elektródami.**

Rovnice pre **väzbu vidov**

$$\frac{dA}{dz} = -j\beta A + jCB \quad (2.2.2)$$

$$\frac{dB}{dz} = -j\beta B + jCA \quad (2.2.3)$$

- **Prispôsobená väzba**
- **Neprispôsobená väzba**

### **Optické prepínače – COBRA**

(**C**ommutateur **O**ptique **B**inaire **R**apide)

- Integrovaný **optický filter**
- Úzkopásmový **rezonančný filter**

**Zmena fázy** prenášaného optického signálu

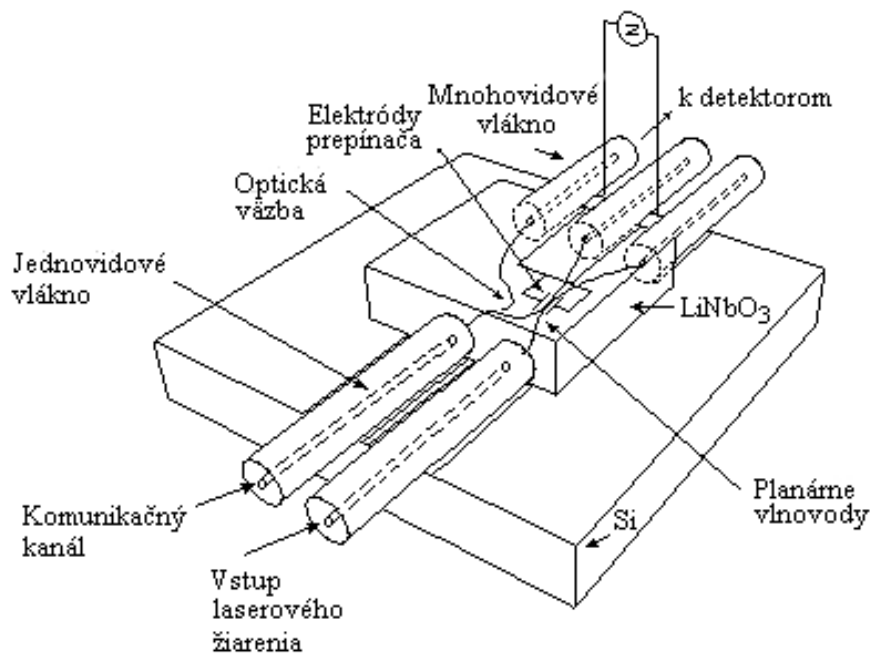
$$\delta\Psi = \frac{2\pi}{\lambda} \delta nL \quad (2.2.4)$$

ak použijeme

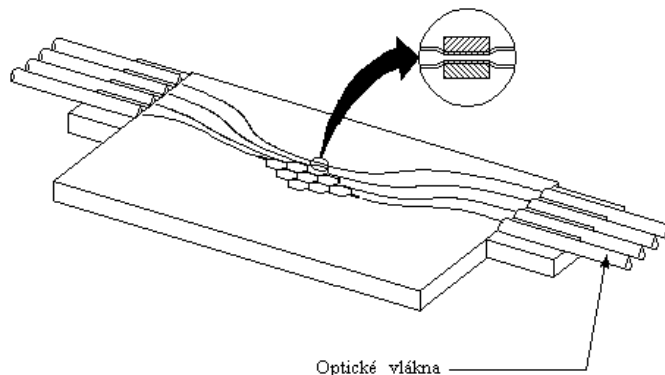
$$E = \frac{VL}{d} \quad (2.2.6)$$

kde V je na elektródy priložené napätie a d je vzdialenosť elektród, potom

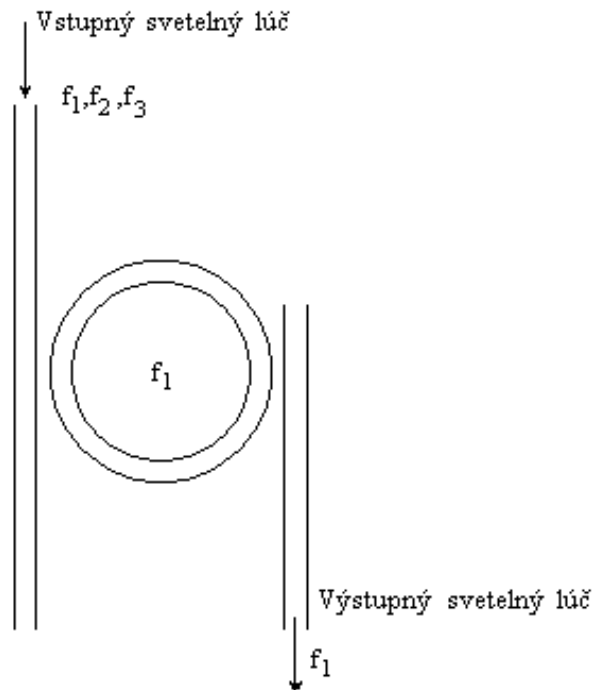
$$d\Psi = \frac{\pi}{\lambda} n_1^3 r \frac{VL}{d} \quad (2.2.7)$$



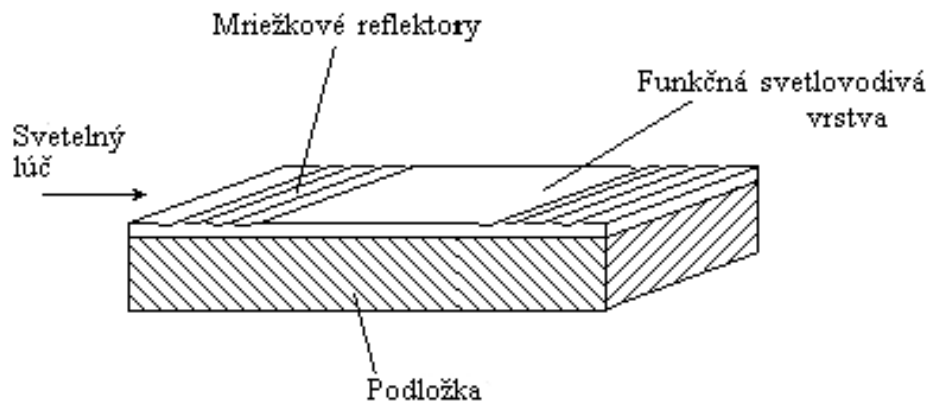
**Obr. 2.10 Integrovaný optoelektronický prepínač.**



**Obr. 2.11 Distribučný obvod (prepínacia matica) optického vláknového komunikačného systému.**



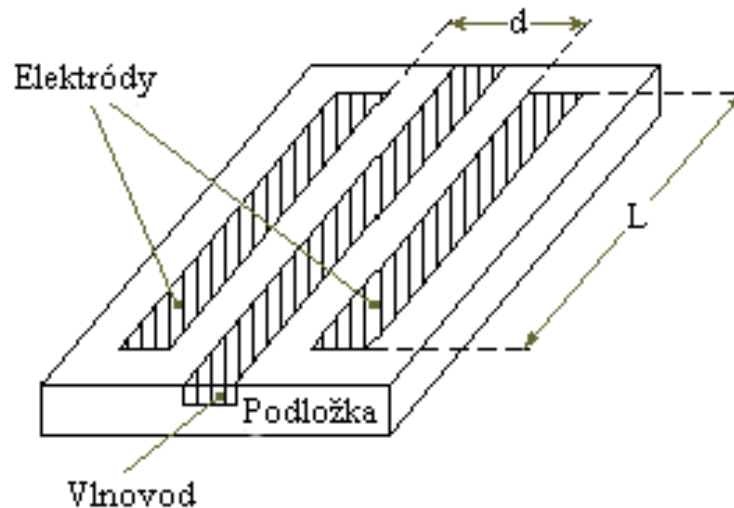
Obr. 2.12 Optický filter s kruhovým rezonátorom.



Obr. 2.13 Optický filter s mriežkovými reflektormi.

- **Jednoduchý fázový modulátor**

- Modulátory vytvorené difúziou **Nb** do **LiTaO<sub>3</sub>**
- Pre pomer  $L/d = 1000$  (t.j. 2 cm/20  $\mu\text{m}$ ) možno dosiahnuť fázový posun  $\pi$  pri napätí 1 V

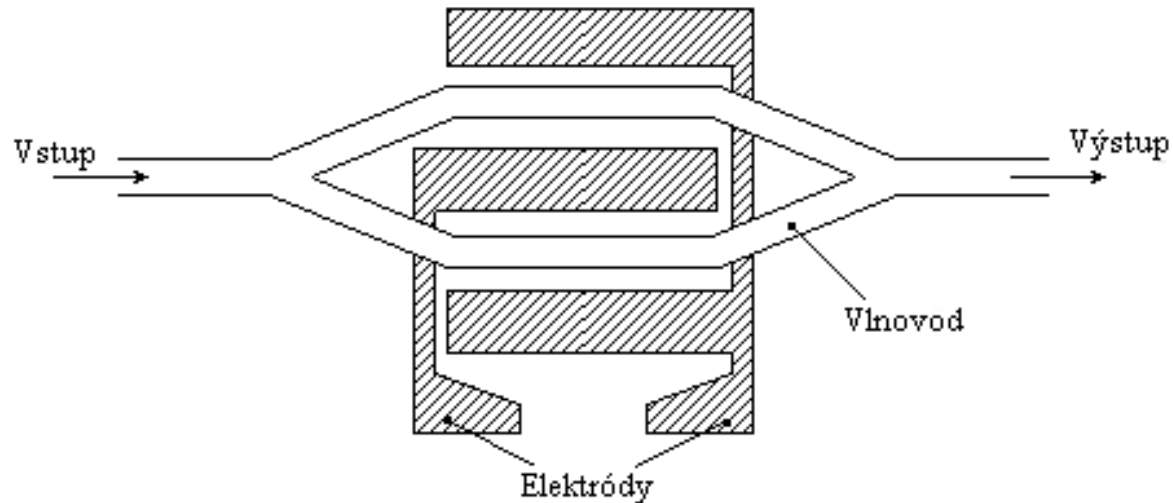


**Obr. 2.14 Jednoduchý optický fázový modulátor s využitím párikového vlnovodu.**

## Interferometere s rozvetvením v tvare Y

- **Machov – Zehnderov interferometer**

- **Môžu pracovať pri frekvencii až 1,1 GHz**
- **Pri modulačnom napätí 3,8 V**
- **Dĺžka modulátora 6 mm**



**Obr. 2.15 Interferometrický fázový modulátor s využitím integrovaného Machovho-Zehnderovho interferometra.**



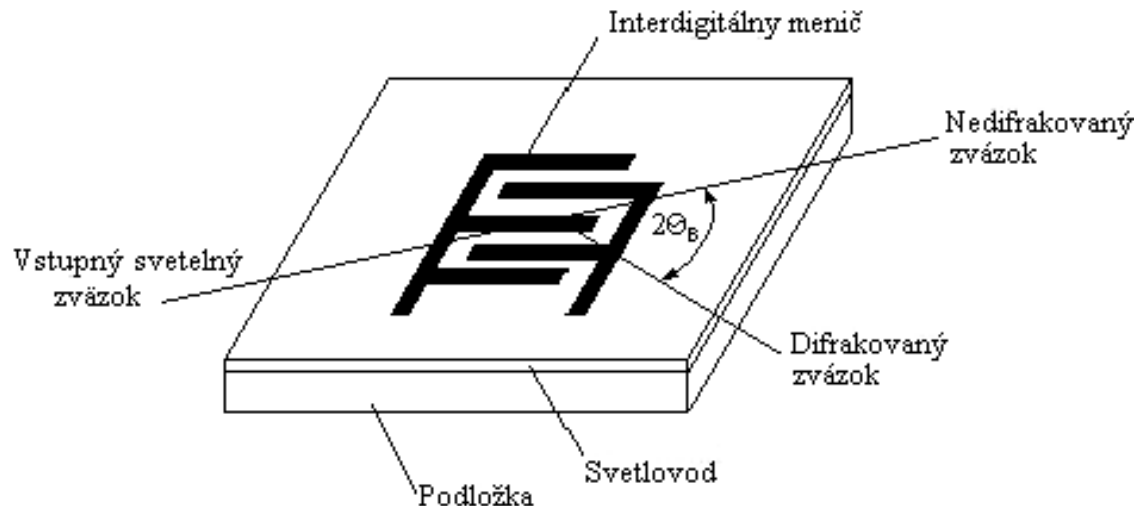
## Modulátory s využitím akustickooptického javu

- Braggov a Ramanov - Nathov režim
  - Integrovaný akustickooptický braggov deflekčný modulátor
- Priezoelektrická podložka ( $\text{LiNbO}_3$ )

### Podmienka pre Braggovu difrakciu

$$\sin \Psi_B = \frac{\lambda_1}{2\Lambda}$$

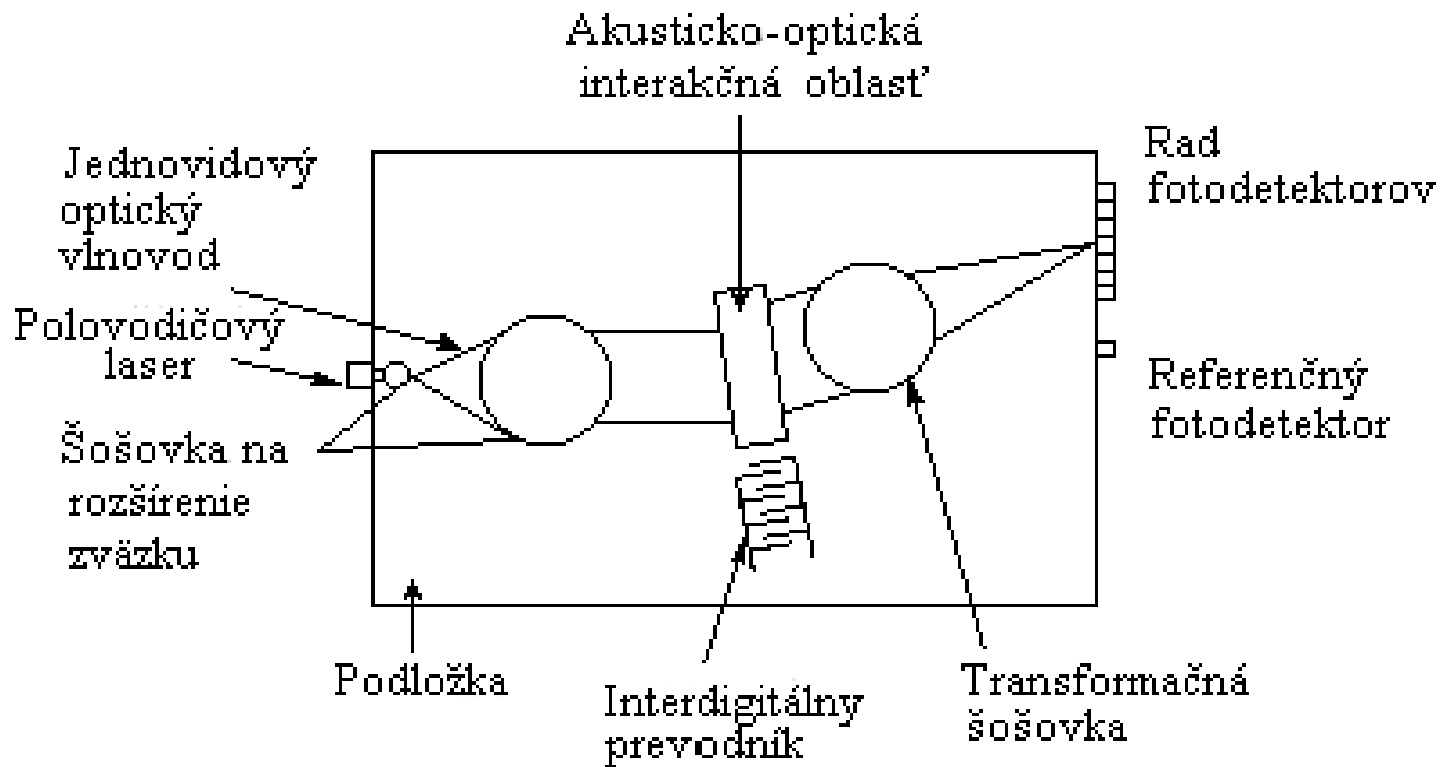
$\Psi_B$  je uhol medzi svetelným lúčom a smerom šírenia akustickej vlny,  $\lambda_1$  je vlnová dĺžka svetla a  $\Lambda$  je akustická vlnová dĺžka



**Obr. 2.16 Integrovaný akustickooptický modulátor.**

**Spektrálny analyzátor**

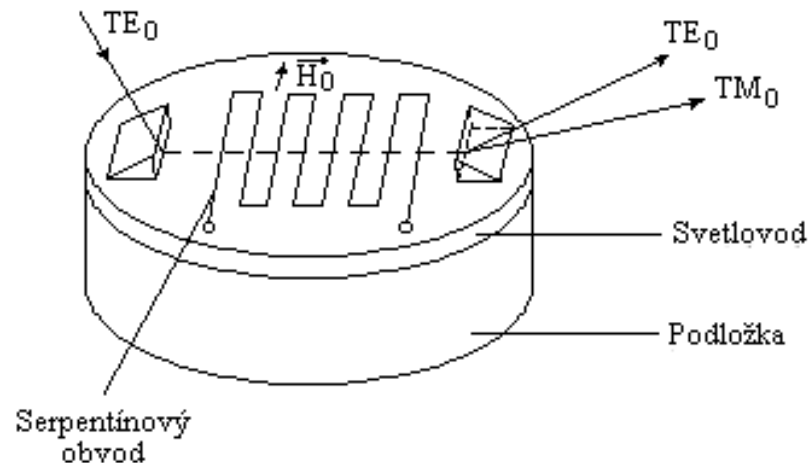
- ❑ Modulátory s využitím akustickooptického javu
- ❑ Integrovaný spektrálny analyzátor



**Obr. 2.24 Integrovaný optický spektrálny analyzátor.**

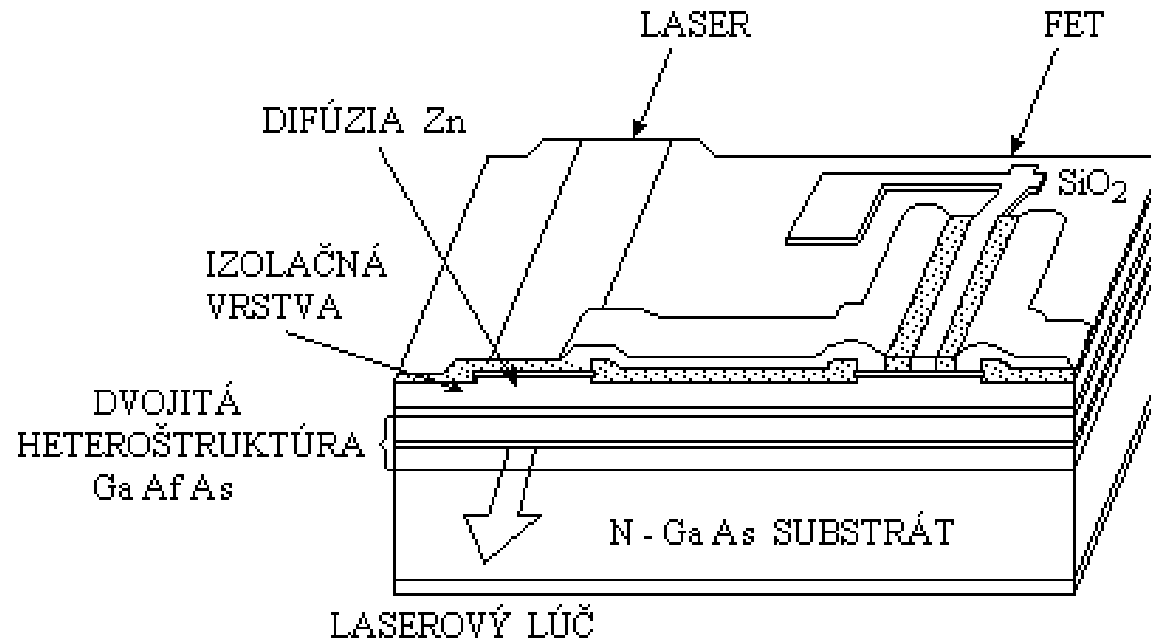
## ❑ Magnetooptický modulátor

- ( $\text{Y}_3\text{Ga}_{0,75}\text{Sc}_{0,5}\text{Fe}_{3,71}\text{O}_{12}$  na podložke z  $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_2$ )
- **Faradayov jav**
  - **Otočenie roviny polarizácie vidu  $\text{TE}_0$**
  - **Vyvolanie vzniku vidu  $\text{TM}_0$**
  - **Rôzne konštanty šírenia**

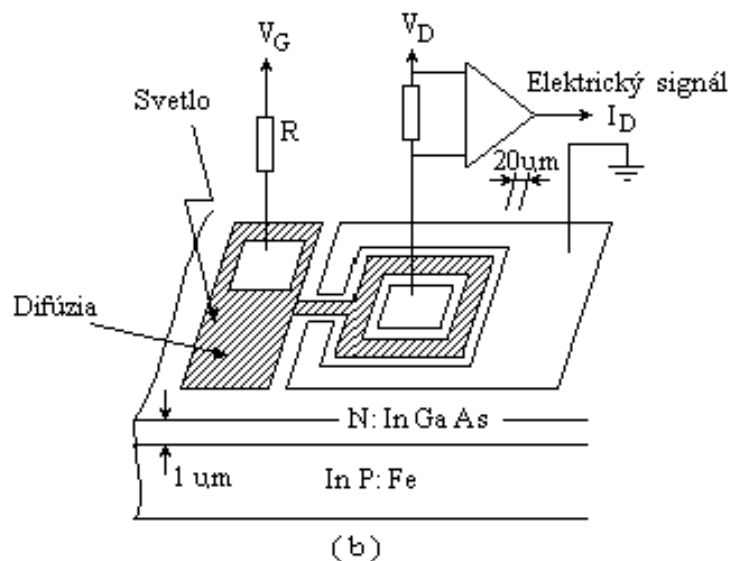
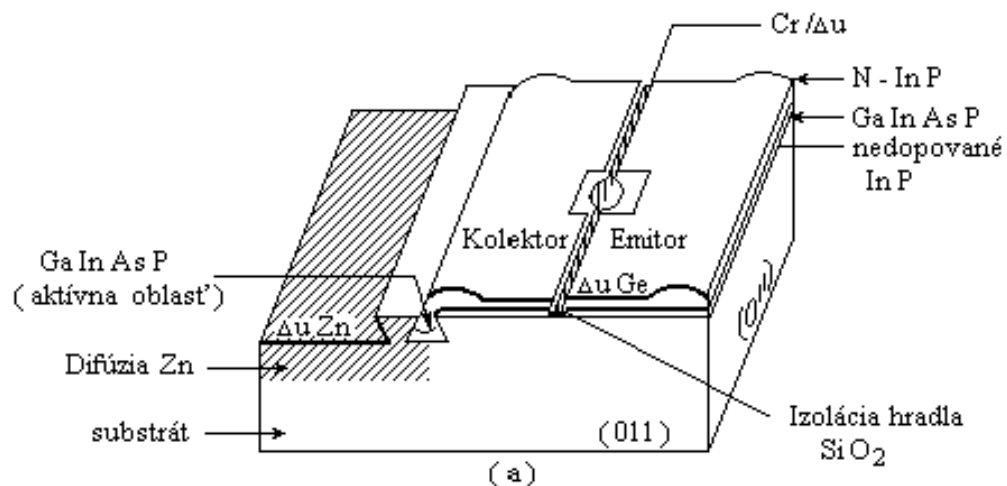


**Obr. 2.17 Princíp zapojenia magneticko-optického modulátora.**

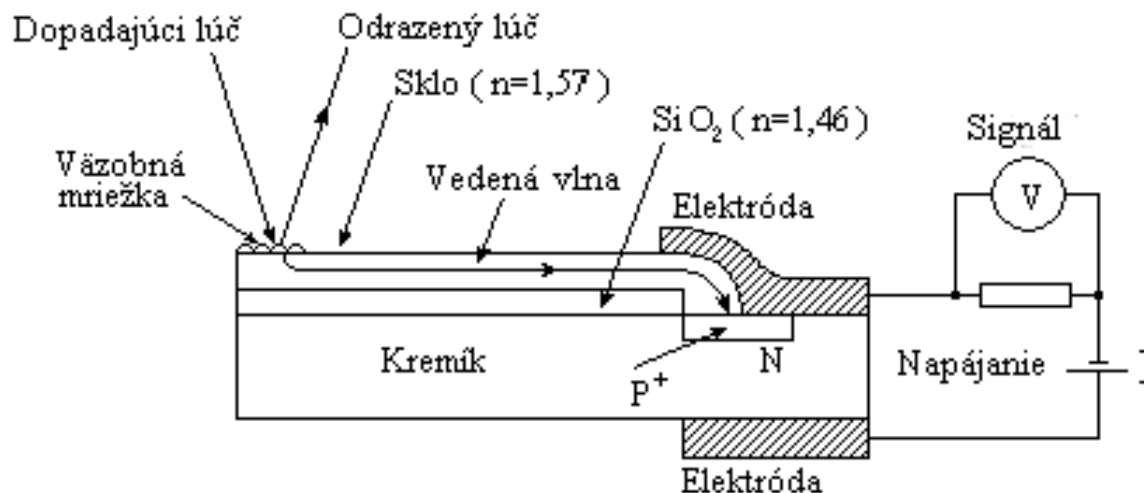
- **Integrácia na jedinom čipe GaAs - modulátor, fotodetektor alebo zosilňovač**



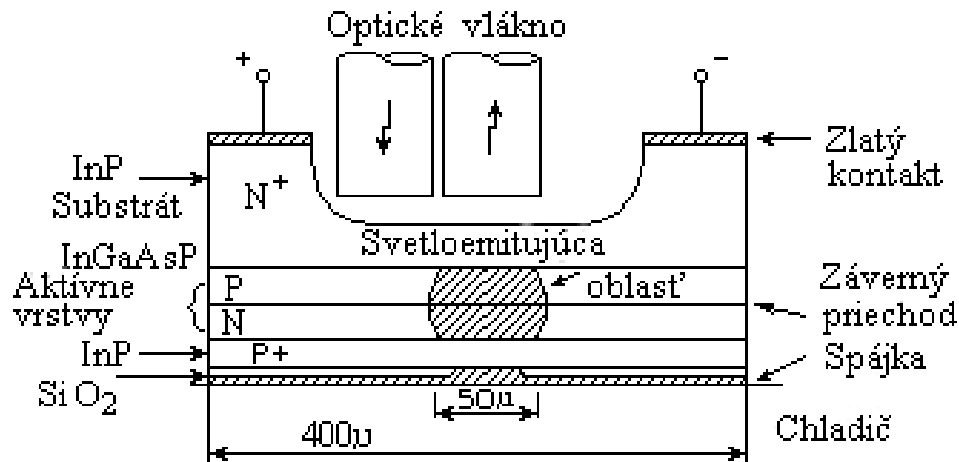
**Obr. 2.18 Integrovaný AlGaAs laser a FET.**



**Obr. 2.19 Integrovaný optický vysielateľ (a) a prijímač (b).**

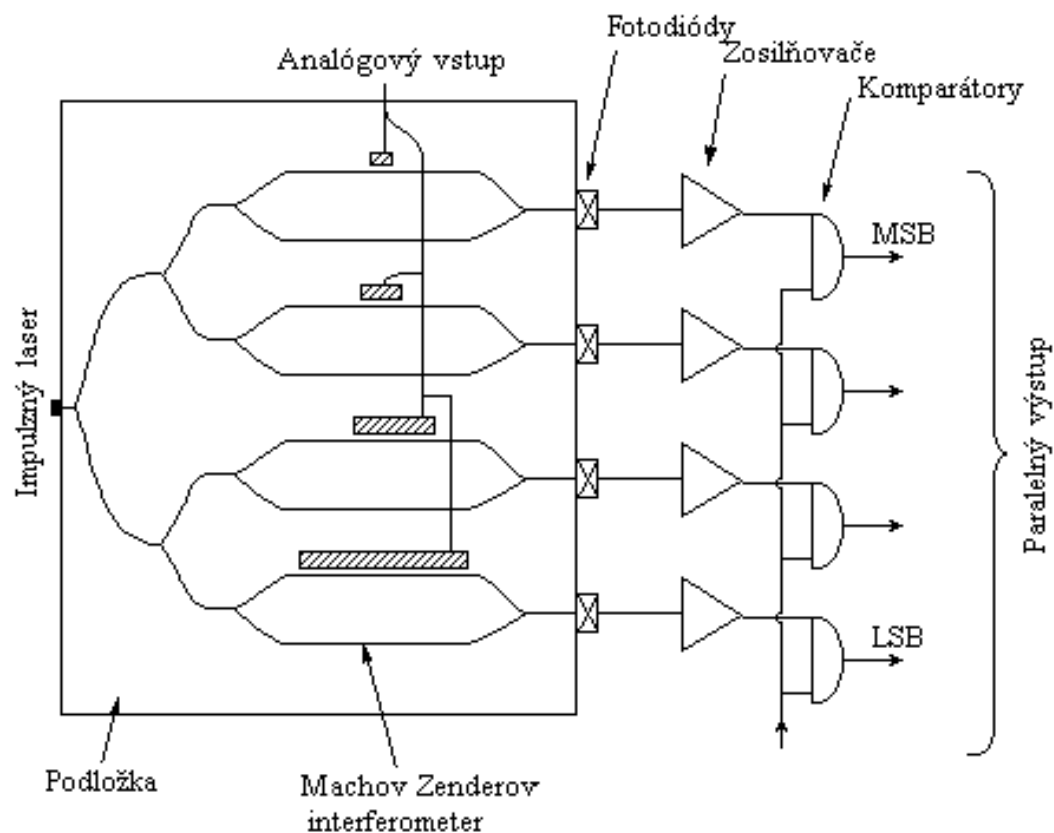


Obr. 2.20 Integrovaný fotodetektor na kremíkovej podložke.

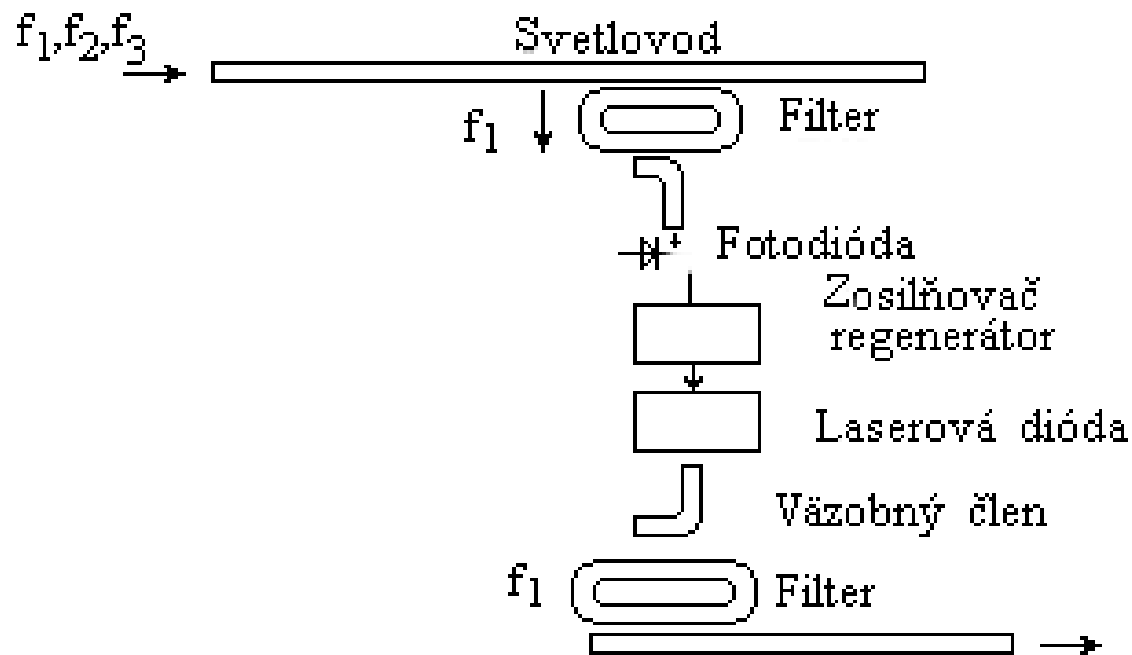


Obr. 2.21 Integrovaný zdroj a detektor svetla.

## Integrovaný optický analogovo – číslicový prevodník



Obr. 2.25 Zapojenie veľmi rýchleho integrovaného optického A/D prevodníka.



Obr. 2.29 Integrovaný optický opakovač.