

Předmět: Biosenzory a monitoring životního prostředí.

6.4.2017

- Rekapitulace přednášek v Praze 20.3.2017.
- Co je světlo? Foton
 - Elektromagnetické Spektrum
 - Maxwellovy rovnice, VID
 - Spektroskopie
 - UV spektroskopie – Lambert-Beerův zákon
 - Fluorescence – Stern-Volmerova rovnice
 - Reflexe
 - Rozptyl
- Vedení světla vlnovodem
 - Základní charakteristiky optického vlákna
 - Ztráty světla v optickém vlákně
- Optický vláknový senzor
 - Evanescentní vlna
 - Evanescentní senzory
 - Senzory s povrchovými plasmony



Biosenzory a monitoring životního prostředí. Rekapitulace přednášek 20.3.2017

- ❖ Pro jeden typ kontaminantu byly vyvinuty biosenzory s různými enzymy i celobuněčné.
- ❖ Biosenzory s převodníkem pH nebo kyslíku.
- ❖ Převodník elektrický nebo optický (pH elektroda, Clarkova elektroda nebo pH elektroda, kyslíková optoda).



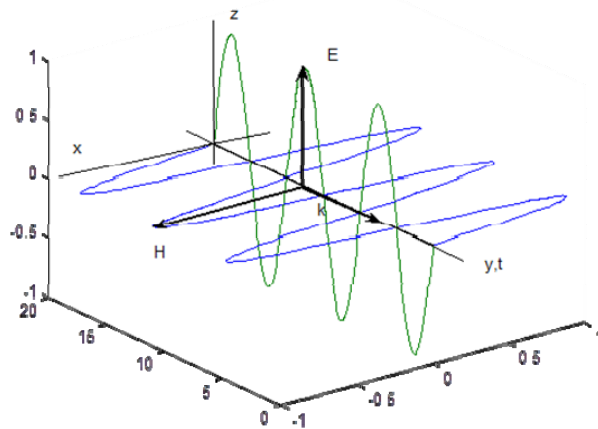
Foton má vlastnosti vlny i částice.

- ❖ Foton je elementární částice, která zprostředkovává elektromagnetické interakce a je základní složkou všech forem elektromagnetického záření.
- ❖ Foton má nulovou hmotnost a ve vakuu se šíří konečnou rychlostí.
- ❖ Při interakci s hmotou může být zpomalen, nebo absorbován a může přenášet energii a hybnost úměrně své frekvenci.



Elektromagnetický model světla podle Maxwela.

Vektory elektrické intenzity a magnetické indukce jsou spolu svázané a díky tomu se mohou šířit i ve vzduchoprázdnu jako elektromagnetické



$$\nabla^2 \vec{E} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\nabla^2 \vec{H} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2}$$

ϵ Permittivita je poměr elektrické indukce a intenzity elektrického pole [F/m]

ve vakuu
$$\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c^2} = \frac{1}{35\,950\,207\,149,472\,705\,6\pi} \text{ Fm}^{-1} \approx 8,854\,187\,818 \times 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$$

μ Permeabilita je poměr magnetické indukce a intenzity magnetického pole [H/m]

ve vakuu
$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Hm}^{-1} \approx 1,256637061 \cdot 10^{-6} \text{ Hm}^{-1}$$

Pro většinu látek, kromě kovů, $\mu_r \approx 1$

Materiál	ϵ_r
vzduch	1,0005
polystyren	2,6
sklo	7,6
křemík	12
voda	80
Speciální mat	až 10^5

Maxwelovy rovnice popisující šíření světla ve vakuu:

$$\begin{aligned}\nabla^2 \vec{E} &= \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \\ \nabla^2 \vec{H} &= \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2}\end{aligned}$$

Fázová rychlost elektromagnetických vln

$$v_f = 1 / \sqrt{\varepsilon \mu}.$$

Dosazením číselných hodnot pro vakuum

$$v_f \doteq 3 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

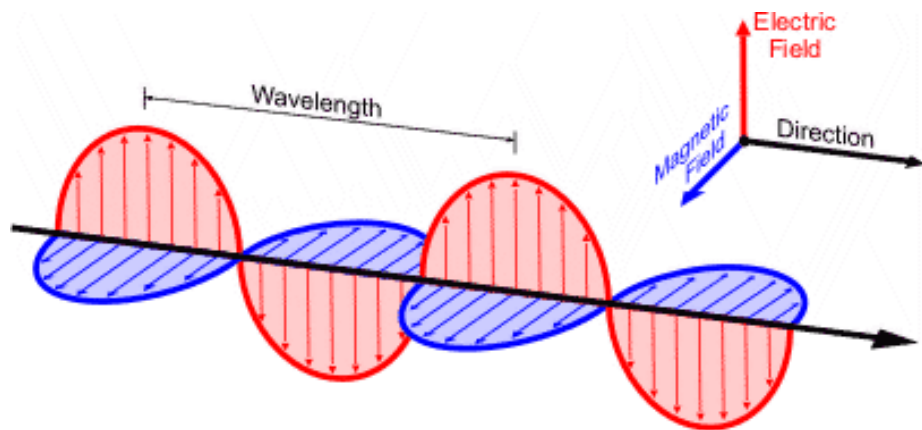
Index lomu je definován jako poměr rychlosti šíření světla v daném prostředí a ve vakuu a může být uveden do vztahu s elektromagnetickými vlastnosti prostředí:

$$n = \sqrt{\varepsilon_r \mu_r},$$

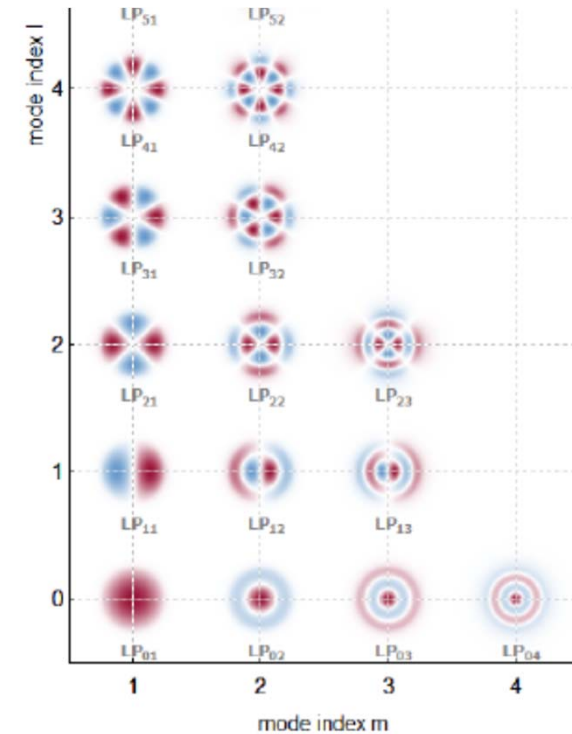
$\varepsilon_r \equiv \varepsilon / \varepsilon_0$ a $\mu_r = \mu / \mu_0$ relativní permitivita a relativní permeabilita prostředí

Pro dielektrika ($\mu_r = 1$) $n = \sqrt{\varepsilon_r}$

VID = geometrické uspořádání elektromagnetického pole.



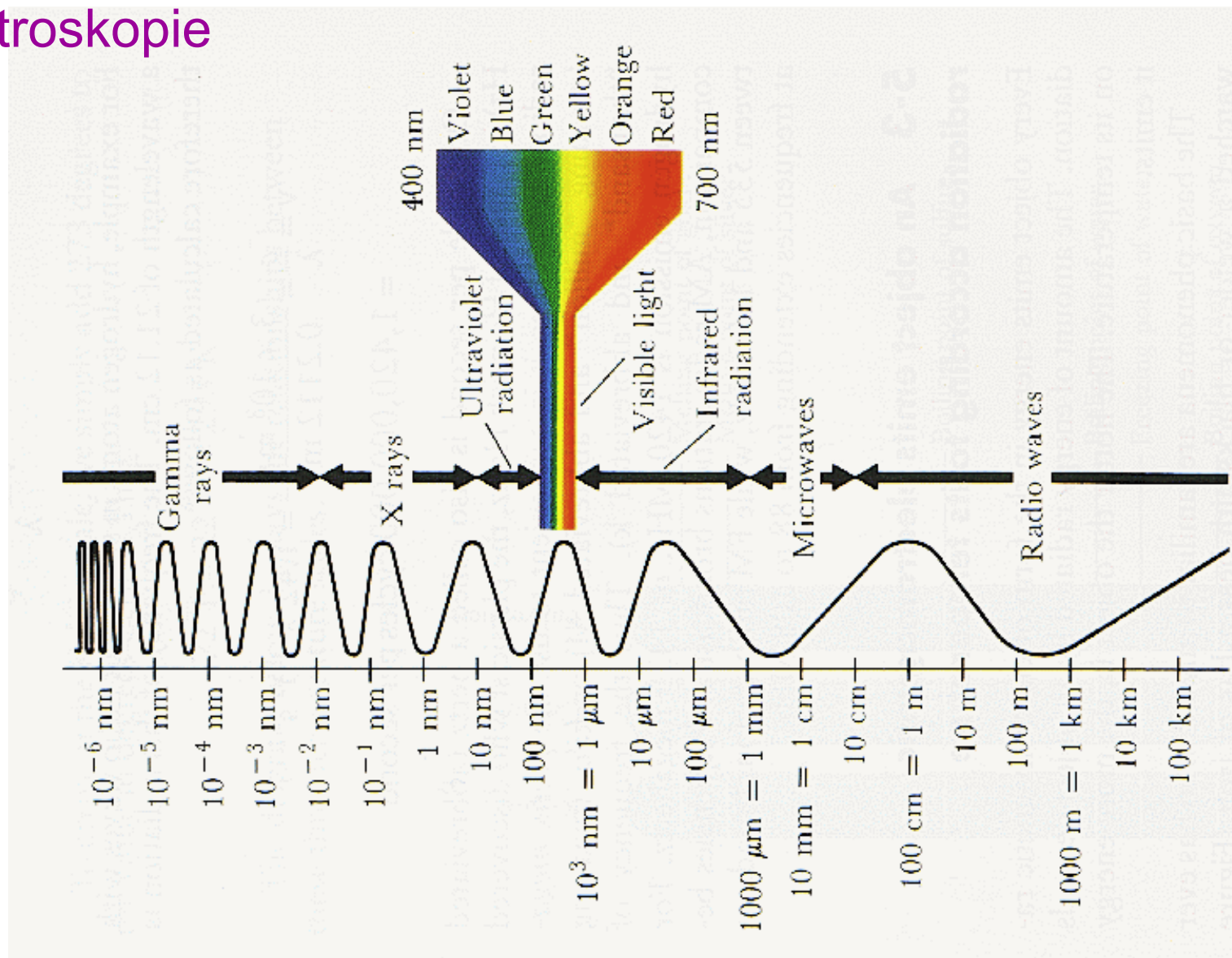
Rozdílné elektromagnetické vidy mohou být nahlíženy jako nezávislé harmonické oscilátory. Foton odpovídá jednotce energie $E=H\nu$ v-tého elektromagnetickém vidu.



Profil amplitúd elektrického pole pro vlákno s krokovým profilem indexu lomu a v 11.4. Vypočteno pomocí RP Fibre Power Software

<https://www.rp-photonics.com/modes.html>

Spektroskopie

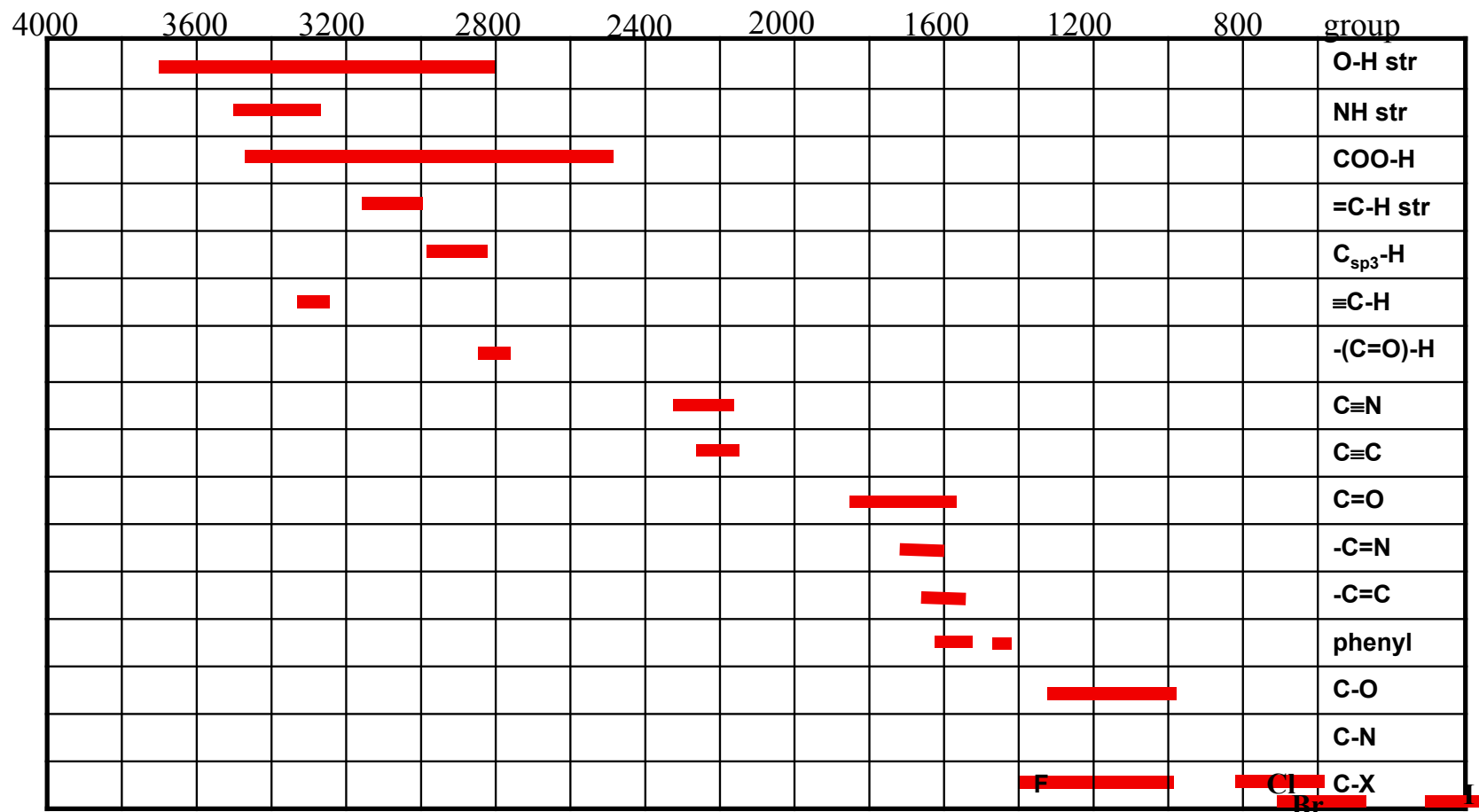


Spektroskopie je použití absorpce, emise nebo rozptylu elektromagnetického záření hmotou k jejímu kvantitativnímu a kvalitativnímu popisu.

Vibrace molekul -Infračervená a Ramanova spektra ($\lambda \sim 10 \mu\text{m}$)

- ❖ Tyto dvě spektroskopie měří vibrace ale každá jiným způsobem:
- ❖ Infračervená spektroskopie je absorbční měření.
- ❖ Ramanova spektroskopie měří rozptyl světla z laserového zdroje, který po té co došlo k rozptylu se skládá s vibračními strukturami molekul.
- ❖ Infračervené pásy jsou aktivní jestliže se současně s vibrací mění dipol moment.
- ❖ Ramanovy pásy jsou aktivní jestliže se mění polarizovatelnost.

Charakteristické vlnočty vazeb organických sloučenin.

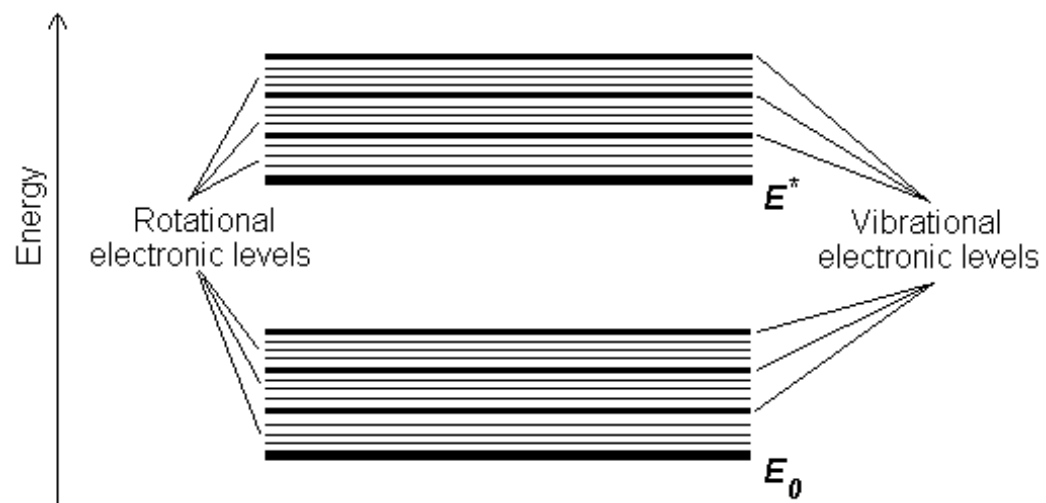


Elektronové přechody UV-VIS spektra ($\lambda < \sim 1 \mu\text{m}$)

- ❖ Absorbce v ultrafialového a viditelného záření odpovídají excitacím vnějších elektronů.
- ❖ Absorbce UV-VIS světla organických molekul je omezena na určité funkční skupiny, - chromofory – které obsahují valenční elektrony s nízkou excitační energií.
- ❖ Spektrum organických latek je komplexní. Představuje superpozici rotačních a vibračních přechodů elektronových stavů, které se jeví jako široký absorpční pás.

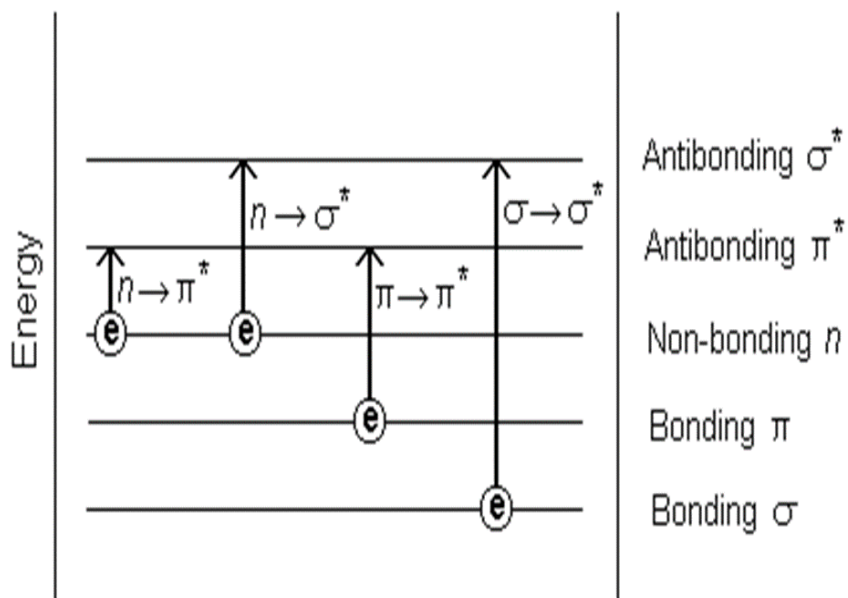


Rotační a vibrační energetické hladiny elektronů.



Elektronové přechody UV-VIS spektra

($\lambda < \sim 1 \mu\text{m}$)



$\sigma \rightarrow \sigma^*$ Elektron ve vazebném orbitalu je excitován do antivazebného. Např. methan může mít pouze tyto přechody, které mají maximum na vlnové délce 125 nm. Tyto přechody jsou mimo UV-VIS rozsah (200-700 nm).

$n \rightarrow \sigma^*$ Sloučeniny s nasycenými vazbami obsahují atomy s volným elektronovým párem, které jsou schopny tohoto přechodu, který je iniciován světlem o vlnových délkách 150-250 nm.

$\pi \rightarrow \pi^*$ $n \rightarrow \pi^*$ aromatic $\pi \rightarrow$ aromatic π
 Spektroskopie organických molekul se většinou zabývá těmito přechody za které jsou odpovědné nenasycené skupiny.

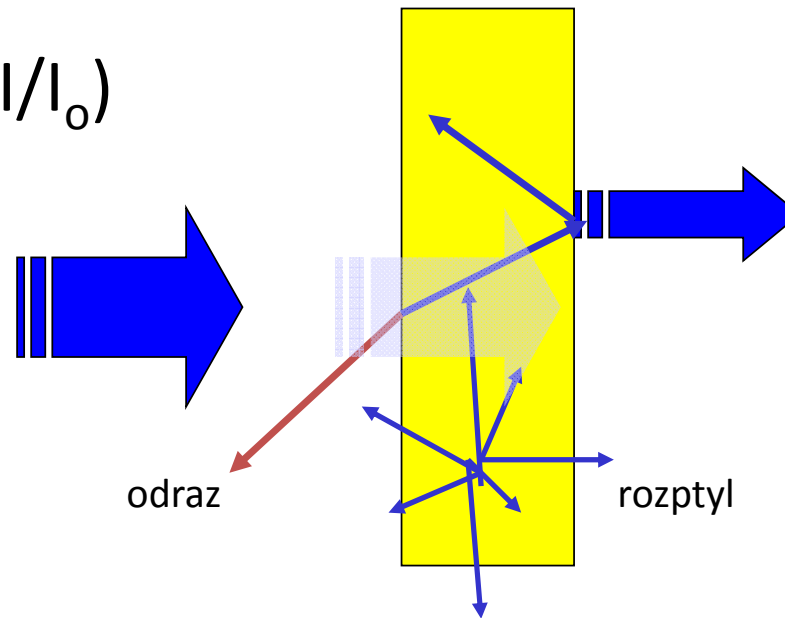
Absorbce přenosu náboje (Charge transfer absorption)

Přenosové komplexy mají části molekuly, které jsou akceptory a jiné, které jsou donory elektronů. Absorbce záření zahrnuje přenos elektronů z donoru na orbitaly spojené s akceptorem.

ABSORBCE SVĚTLA

$$OD_{\lambda} = \frac{A_{\lambda}}{l} = -\frac{1}{l} \log_{10} T = \frac{1}{l} \log_{10} \left(\frac{I_0}{I} \right)$$

$$A = -\log T = -\log(I/I_0)$$



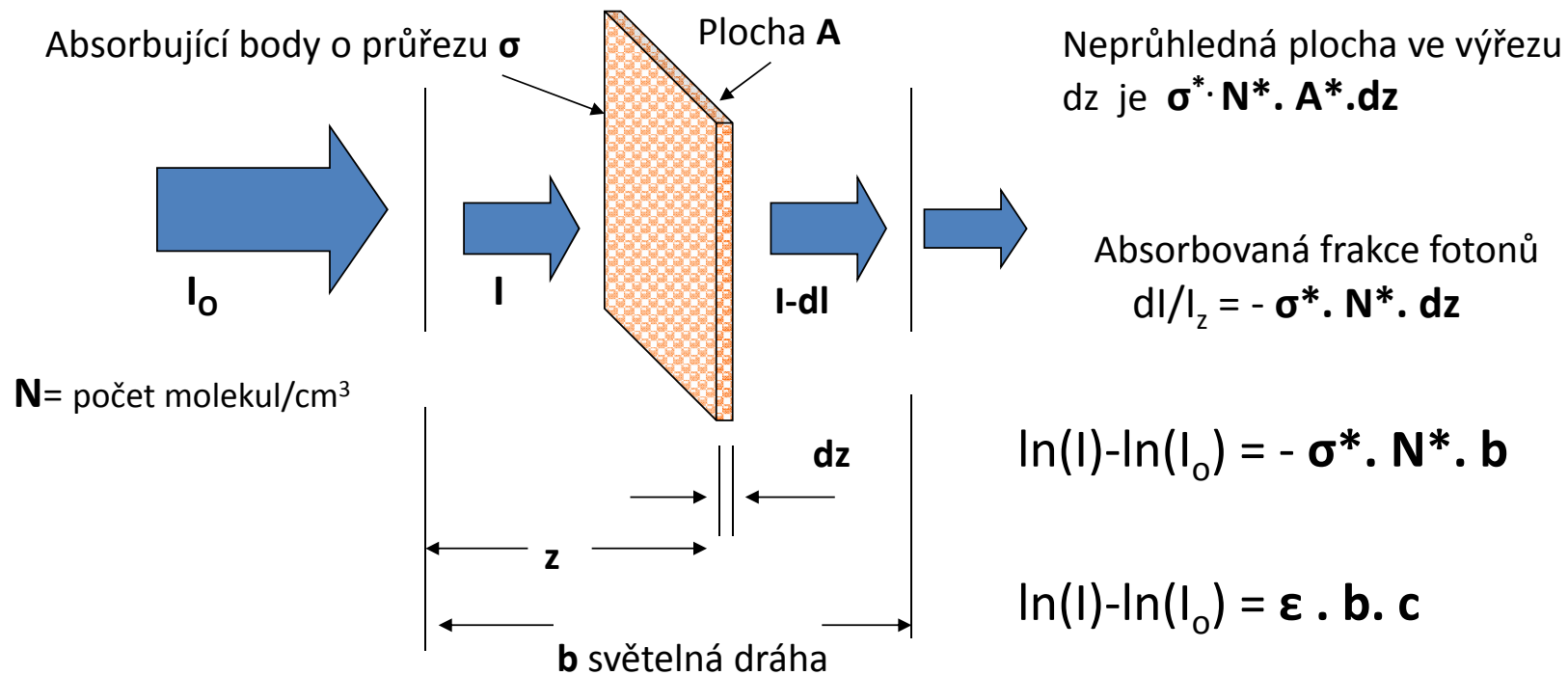
$A = \epsilon_{\lambda} \times B \times C$ Lambert Beerův zákon

ϵ_{λ} molární extinkční koeficient [$M^{-1}cm^{-1}$]

B optická dráha [cm], C koncentrace vzorku [M]


Odvození Lambert-Beerova zákona

- ❖ Molekula je aproximována jako neprůhledný disk, jehož plocha průřezu σ představuje účinnou plochu pro foton o frekvenci ω .
- ❖ Jestliže frekvence světla je daleko od rezonance plocha se blíží 0 a naopak v blízkosti rezonance je maximální.



Typické průřezy a molární absorpční koeficienty.

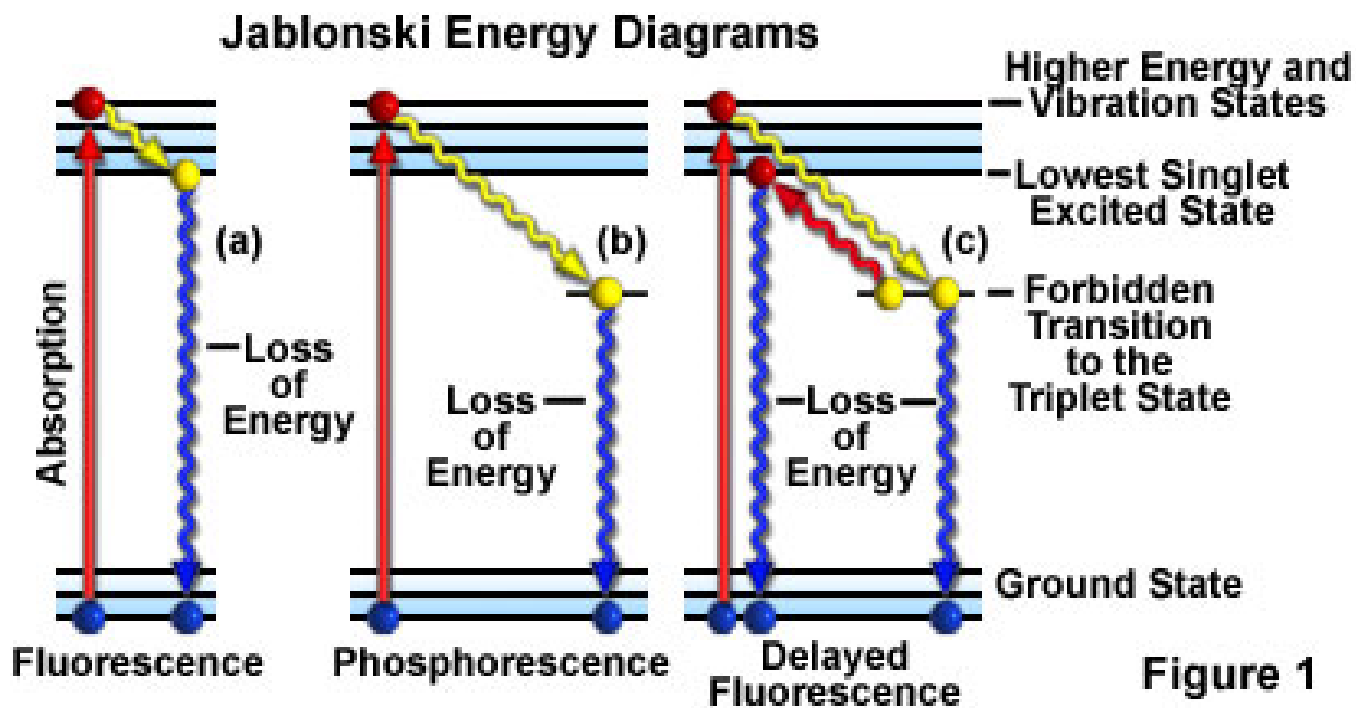
Absorbce	σ (cm²)	ϵ (M⁻¹ cm⁻¹)
atomů	10^{-12}	3×10^8
molekul	10^{-16}	3×10^4
infračerveného světla	10^{-19}	3×10
Ramanův rozptyl	10^{-29}	3×10^{-9}

- 
- A photograph of a boat named 'VAU OISE' docked at a pier. The boat is dark-colored with white lettering on the bow. A semi-transparent text box is overlaid on the image, containing a bullet point that explains the concept of wave reflection. The boat is moored with ropes, and the water shows some ripples.
- Reflexe je změna směru čela vlny na rozhraní mezi dvěma odlišnými medii takže se čelo vlny vrací do media ze kterého přišlo.

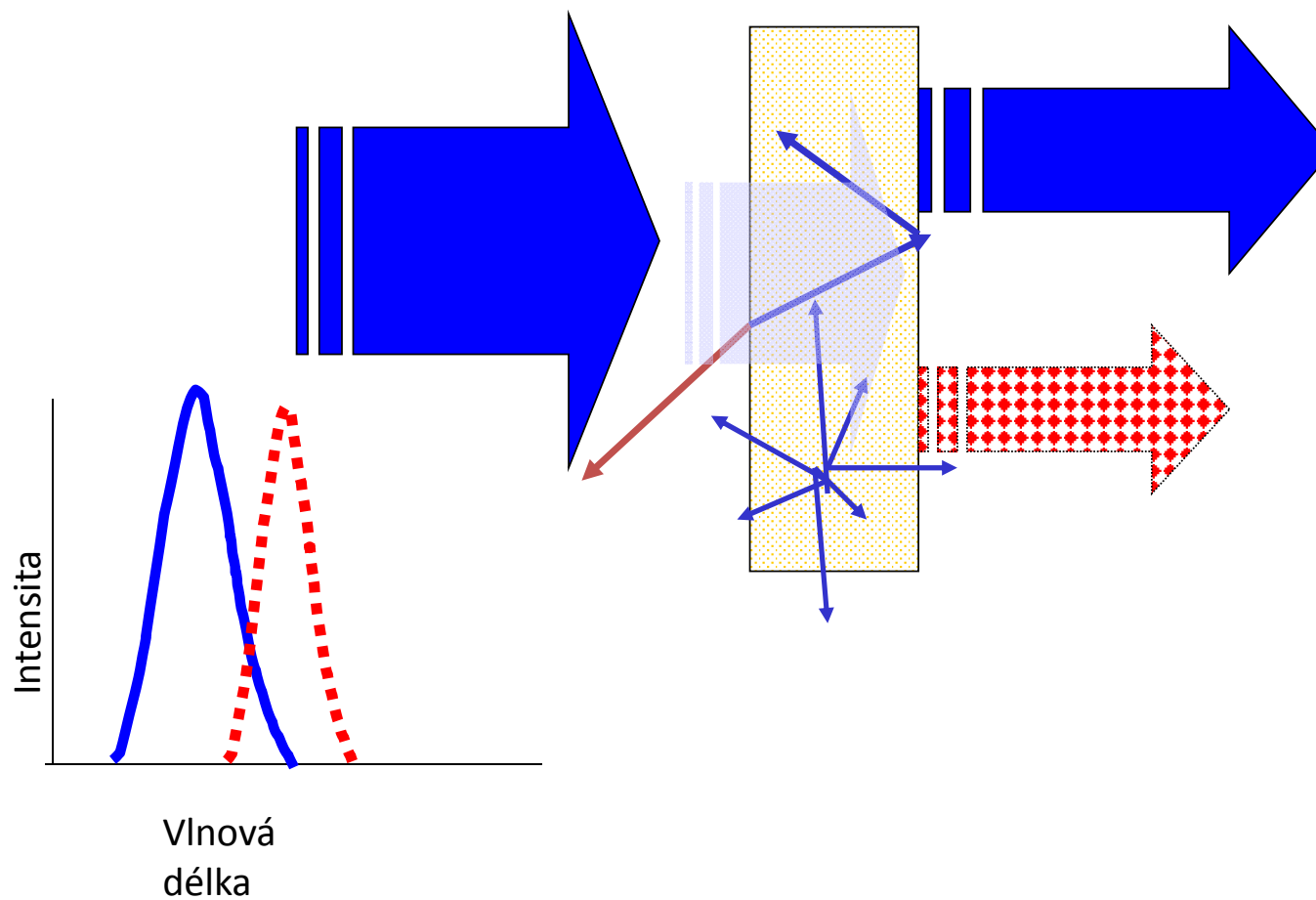
Rozptyl

- ❖ Rozptyl je fyzikální proces kdy některá forma radiace jako je světlo nebo pohybující se částice jsou odchýleny od přímého směru jednou nebo více lokalizovanými překážkami v mediu kterým se šíří.
- ❖ Rozptyl zahrnuje odrazy, které nelze předpovědět pomocí zákona odrazu a je nazýván difusním odrazem na rozdíl od zrcadlového odrazu.
- ❖ Nehomogenity, které způsobují rozptyl = rozptylová centra jsou částice, bubliny, kapky, vlákna, fluktuace hustoty a složení, defekty v krystalické mřížce, povrchové nerovnosti, buňky.
- ❖ Podle velikosti rozptylových center a jejich poměru k vlnové délce záření byl rozptyl rozdělen na Raleighuv, Mieuv a Brillouniuv.

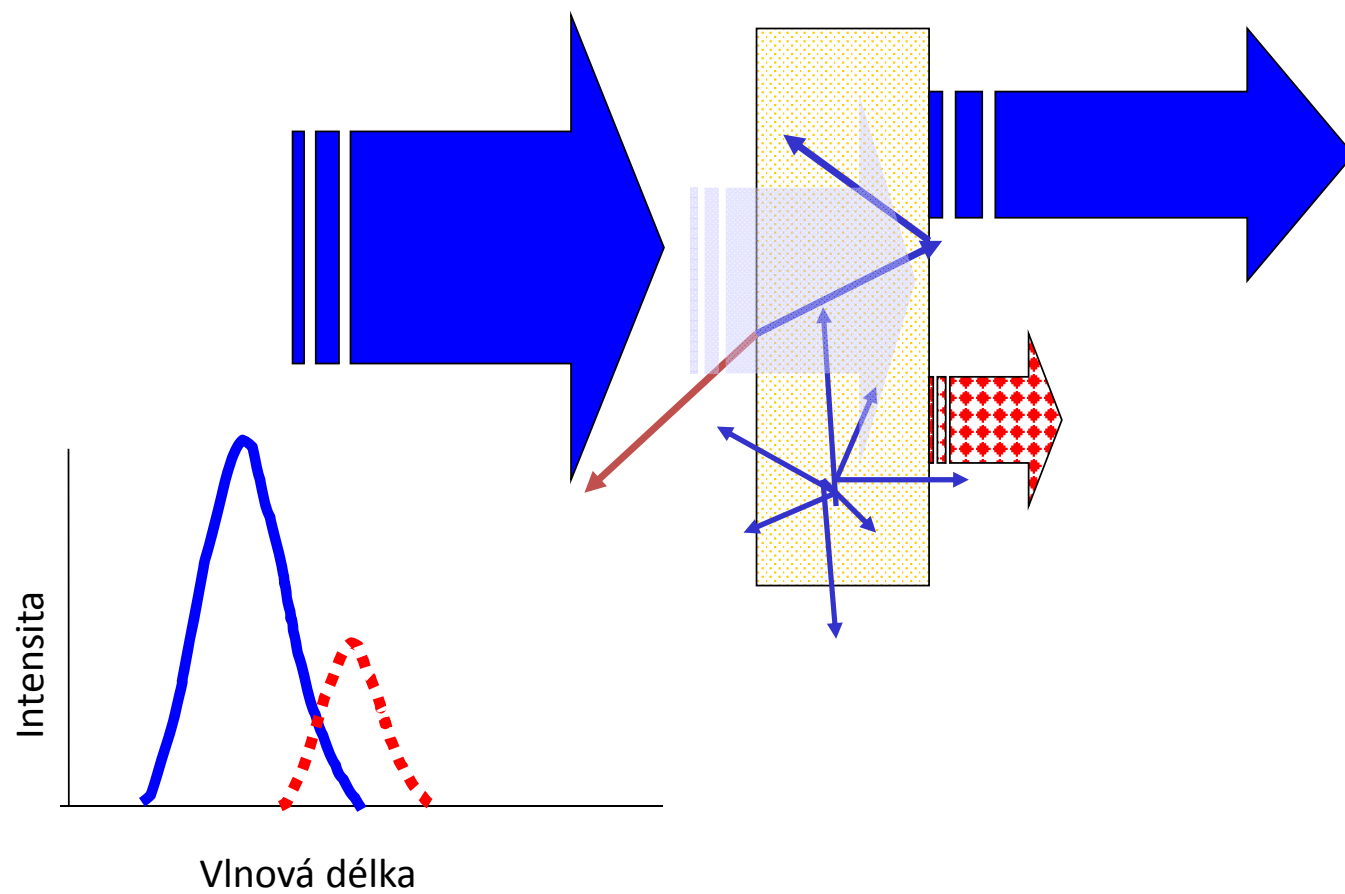
Fluorescence



Fluorescence



Zhášení Fluorescence



Zhášení Fluorescence

- Statické (chemické) zhášení je důsledkem změn v chemické podstatě fluorescenční látky. Anilin fluoreskuje při pH 5 -13 . Pod pH 5 je ve formě kationtu a nad pH 13 jako anion, přičemž oba ionty nevykazují fluorescenci.
- Dynamické zhášení – Interakce zhašedla s excitovaným stavem fluoroforu.



Zhášení excitovaného stavu Stern – Volmer rovnice

$$\frac{I_{min}}{I_{max}} = 1 + k \cdot pO_2$$

I_{min} – intenzita fluorescence při nulové koncentraci zhášedla (kyslík)

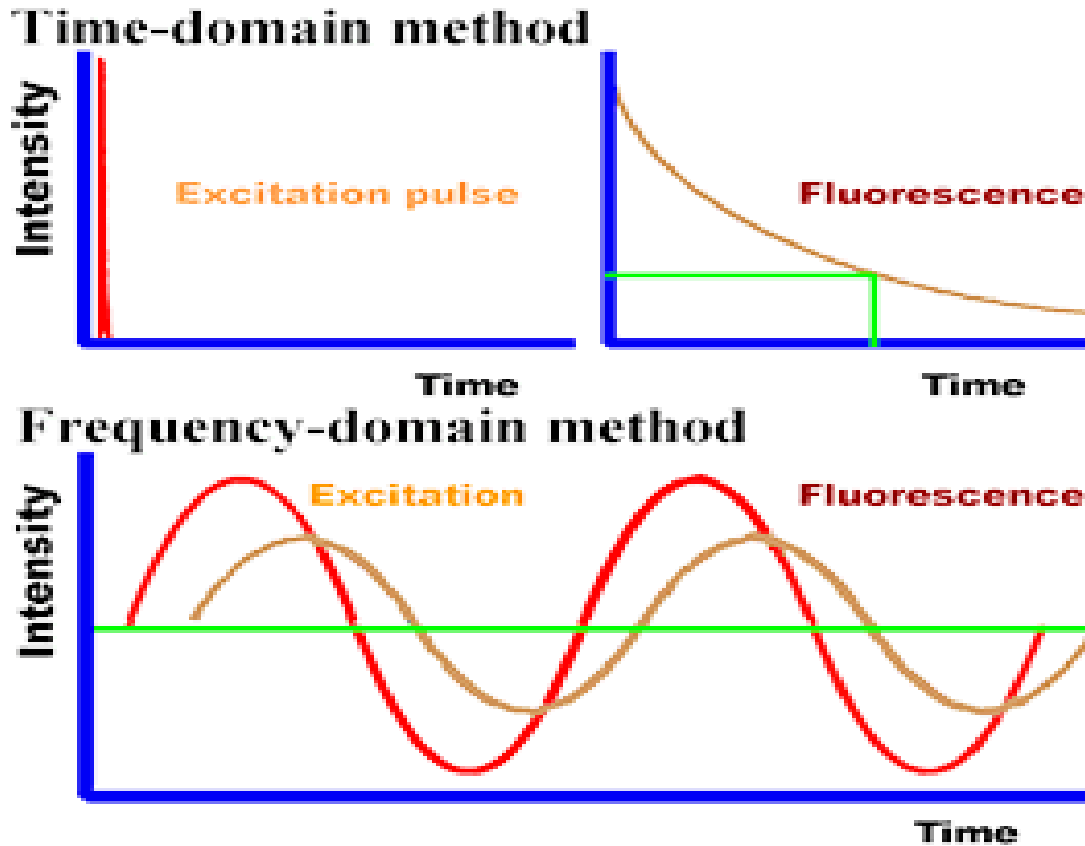
I_{max} – intenzita fluorescence při maximální koncentraci zhášedla (kyslík)

k – Stern – Volmerova konstanta

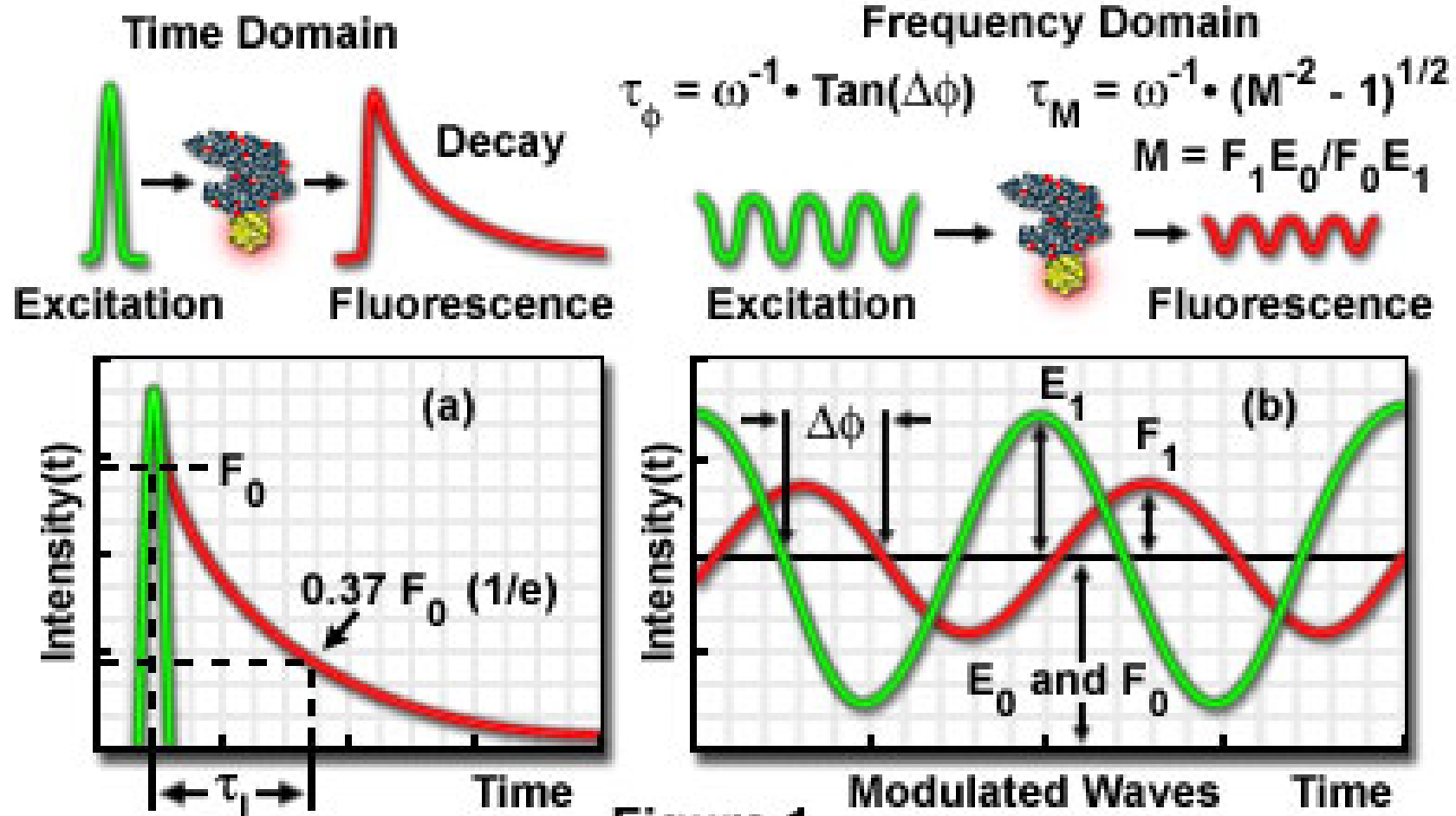
koncentrace zhášedla např. pO_2 – parciální tlak kyslíku

Časově rozlišená fluorescence.

Pulsní měření a měření pomocí fázové modulace.



Fluorescence Lifetime Measurements



Vliv způsobu měření fluorescence na získaný obraz fluorescenčním mikroskopem.

Buňka vybarvovaná barvivou Ho (Hoechst 3342) a 7-AAD (7-AMINO-ACTINOMYCIN).

Texture Analysis of Fluorescence Lifetime Images of Nuclear DNA with Effect of Fluorescence Resonance Energy Transfer
Shin-ichi Murata, Petr Herman, and Joseph R. Lakowicz*

Cytometry 43:94–100 (2001)

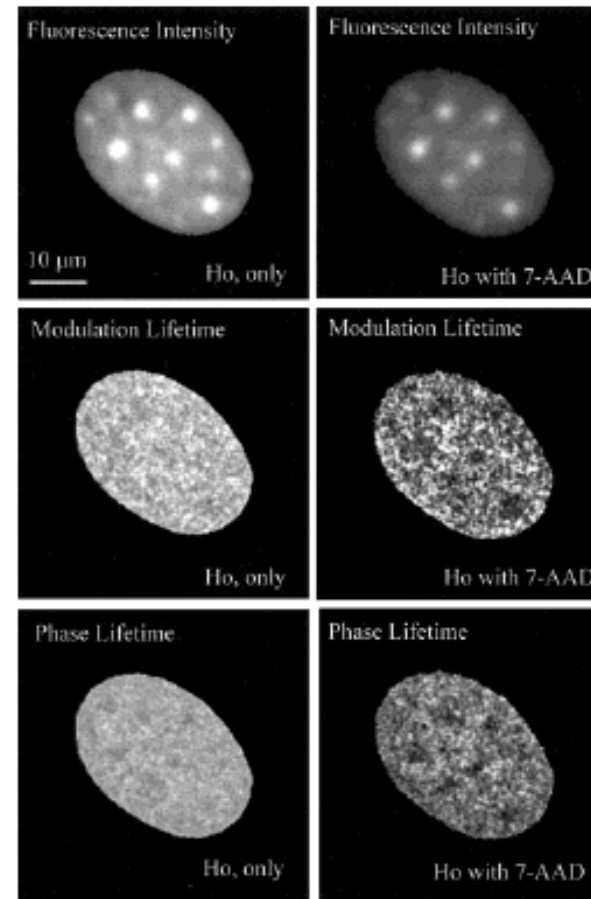
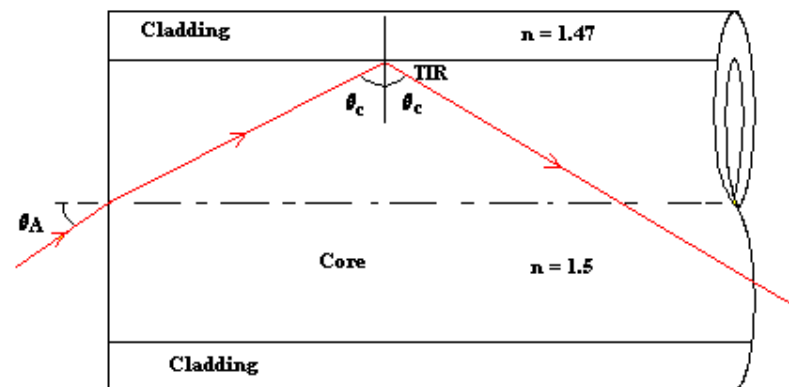


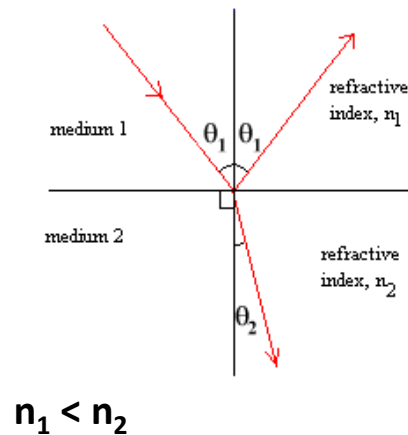
FIG. 2. Fluorescence intensity and lifetime images of another cell stained with Ho in the presence and absence of 7-AAD. After the addition of 7-AAD, the lifetime image becomes strongly heterogeneous. This cell shows more obvious correlation between fluorescence intensity and lifetime than the cell in Figure 1.

- Princip vedení světla vlnovodem: totální odraz světla na rozhraní dvou materiálů s rozdílným indexem lomu.

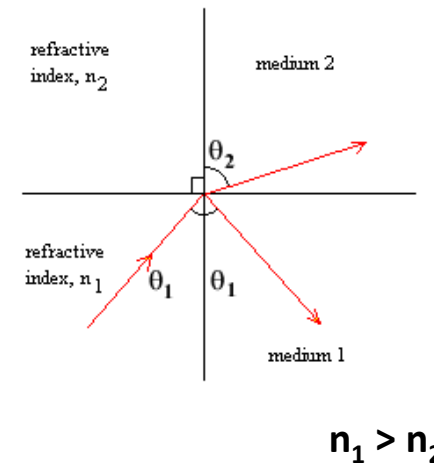
Totální odraz na rozhraní jádra a obalu u mnohavidového křemenného vlákna (obal křemenné sklo a jádro křemenné sklo dopované germaniem).



Při průchodu světla z jednoho transparentního prostředí do druhého část světla je odražena a část prochází.



$$n = \frac{c}{v}$$



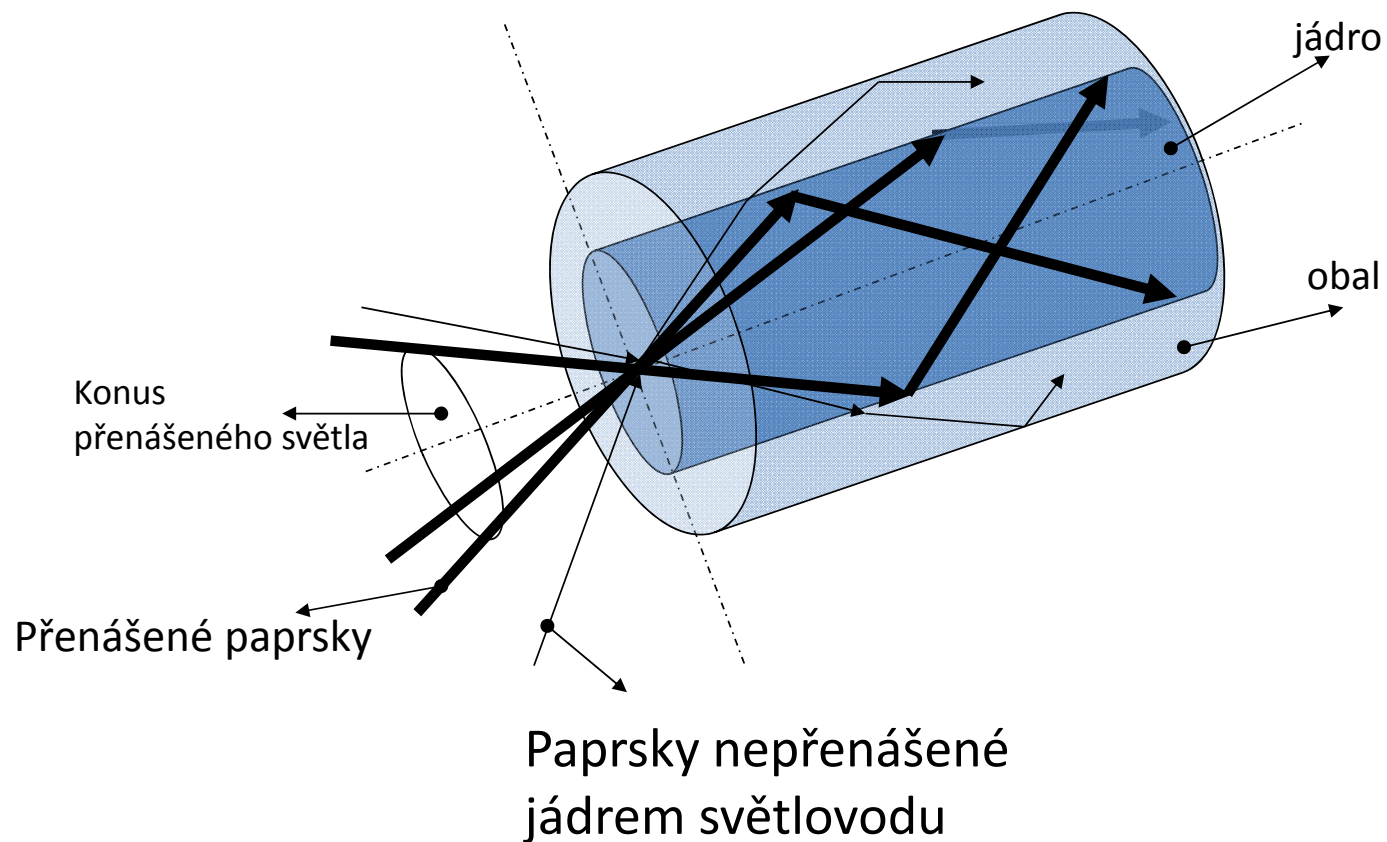
Podmínky totálního odrazu (TIR):

- 1) Index lomu prostředí ze kterého paprsek vstupuje je vyšší než prostředí do kterého vstupuje
- 2) Úhel vstupu je vyšší než kritický úhel

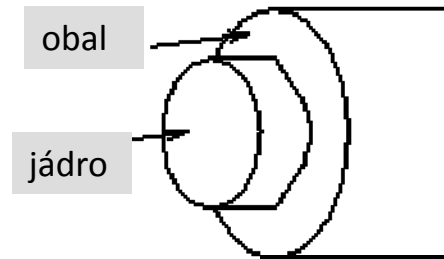
Jev TIR způsobuje 100% odraz. V přírodě neexistuje jiný případ kdy by světlo bylo 100% odráženo.



Princip vedení světla vlnovodem



ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY OPTICKÉHO VLÁKNA



Numerická apertura (NA)

Útlum = ztráty světla ve vlákně =

= Absorbací a rozptylem v materiálu + nedokonalostí geometrie vlákna (mikroohybové) + interferencí vidů

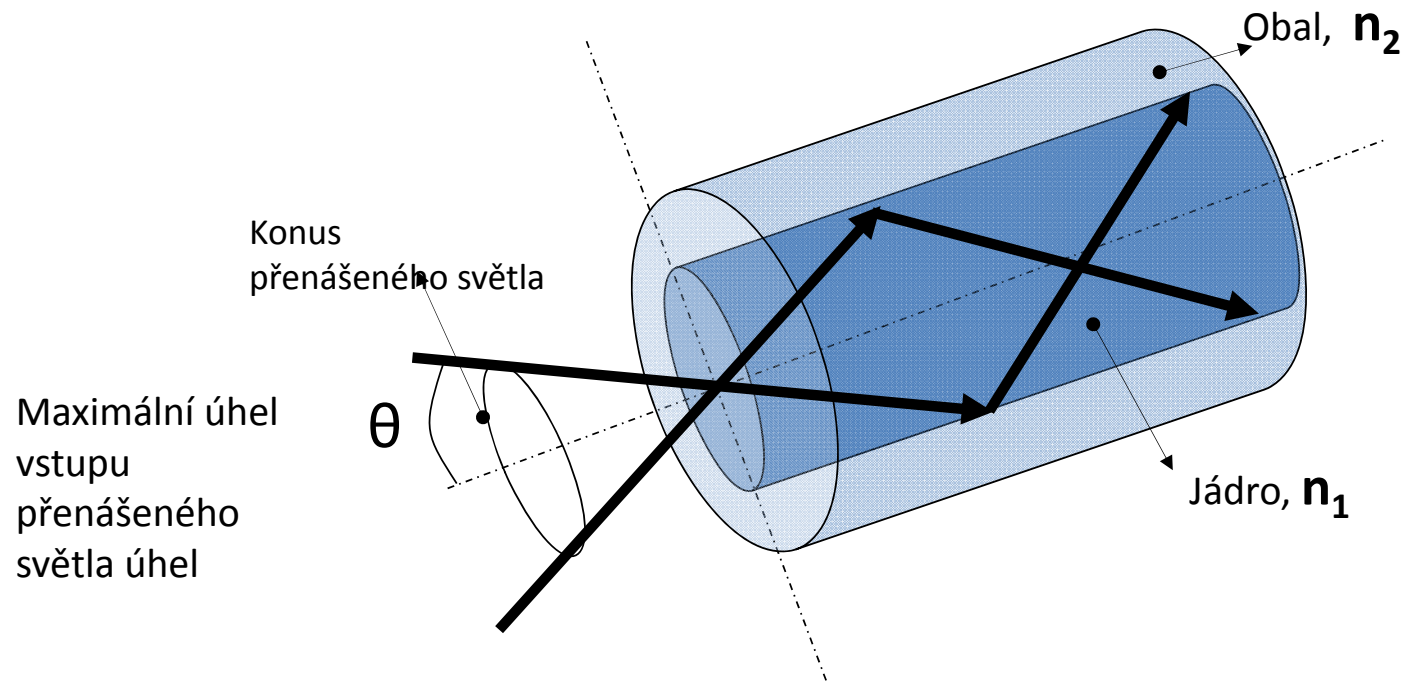
Rozměry jádra a obalu –jednovidový, mnohavidový vlnovod

Materialové – určují vlnovou délku přenášeného světla

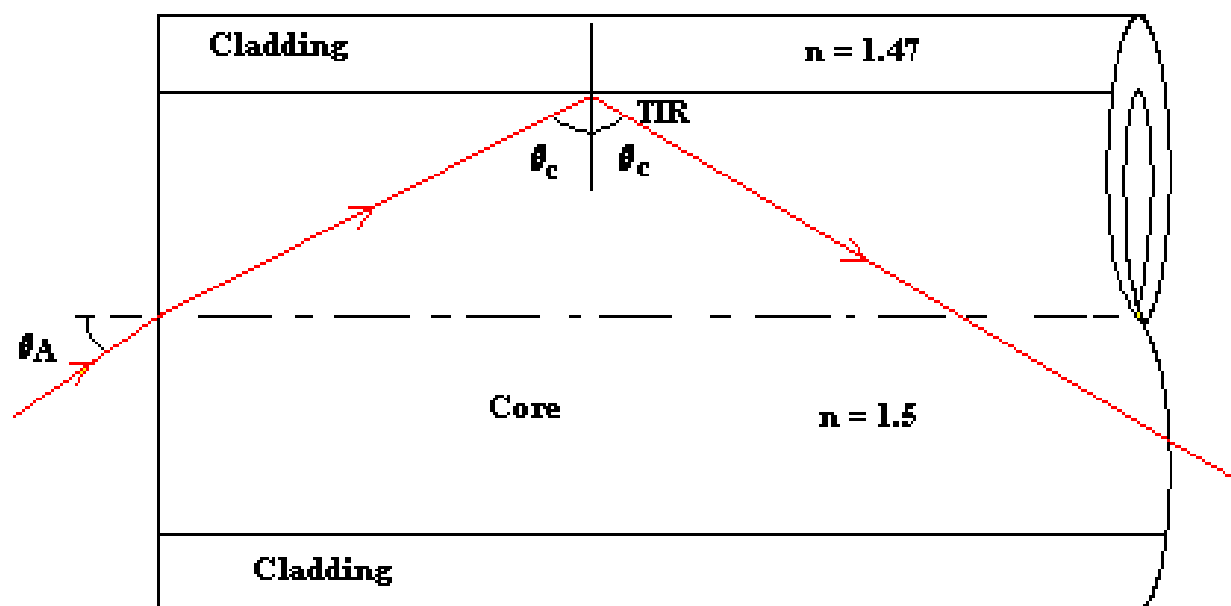


Numerická apertura = sinus poloviny maximálního úhlu světla, které je vlákno schopno přenést.

$$NA = \sin \theta = 1/2(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$



Totální odraz na rozhraní jádra a obalu u mnohavidového křemenného vlákna (obal křemenné sklo jádro křemenné sklo dopované germaniem.)



Počet vedených modů (vidů)

Pro mnohavidové optické vlákno se skokovým profilem indexu lomu:

D = průměr vlákna

NA = numerická apertura

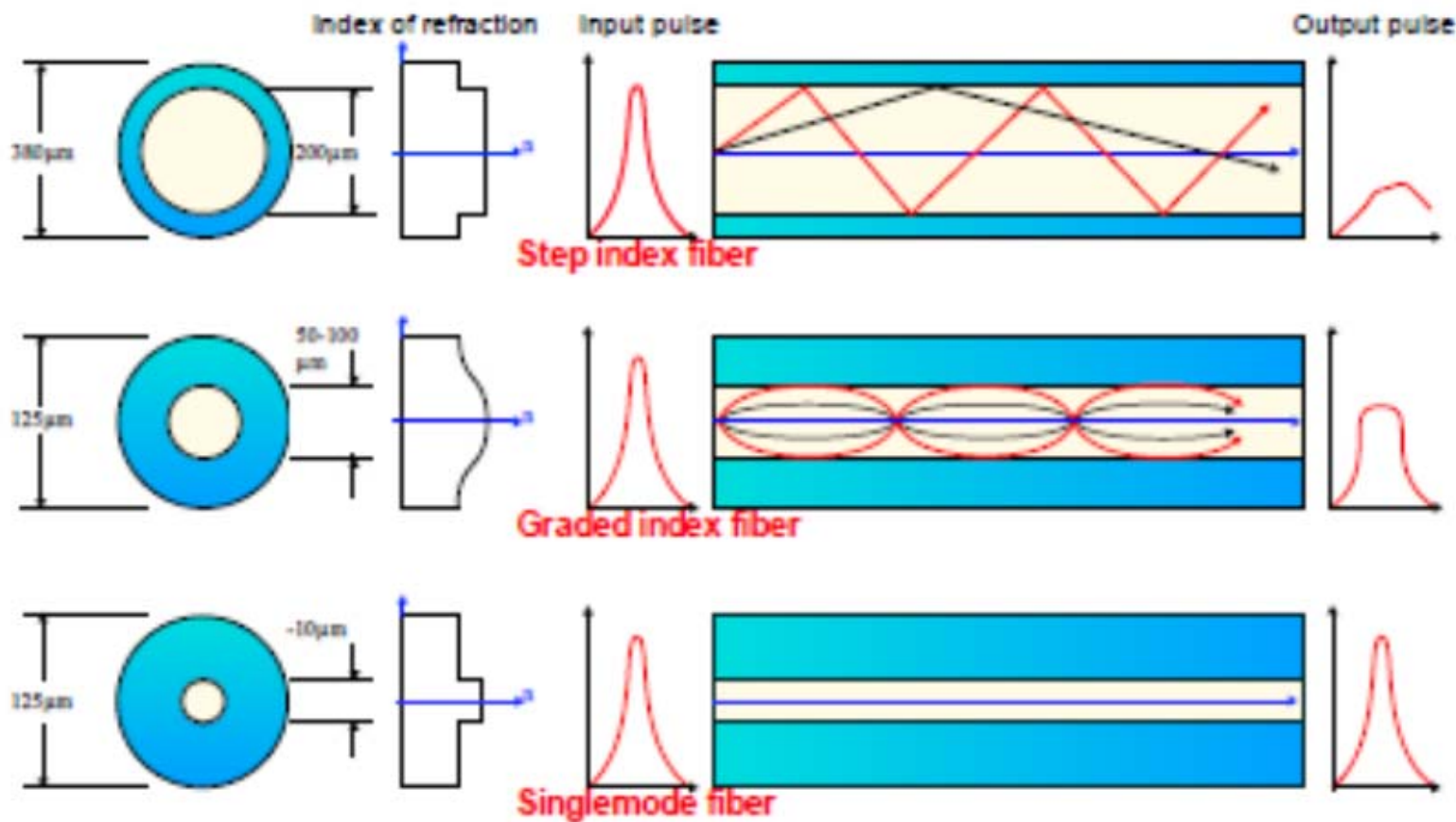
λ = vlnová délka přenášeného světla

$$N_m = 0.5 \left(\frac{\pi D \times NA}{\lambda} \right)^2$$

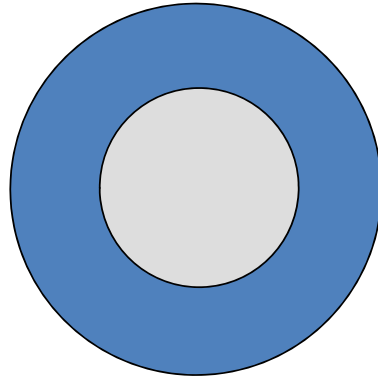


1. 4. 2017

Optical_fiber

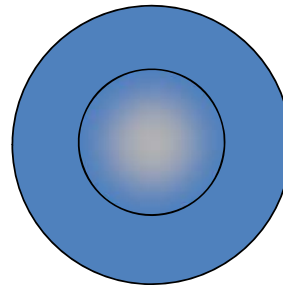


Typické průřezy optickými vlákny



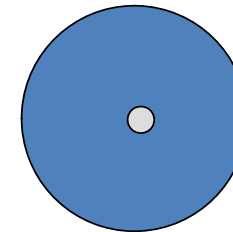
Mnohavidové vlákno s krokovým profilem indexu lomu

Materiál: sklo, plast
Průměr jádra: 0.1-1mm
Průměr obalu: 0.2-1mm
NA = 0.2-0.5
Útlum 1-1000 dB/km



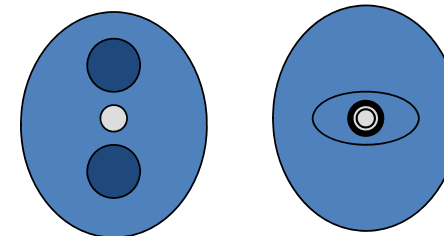
Mnohavidové vlákno s gradientním profilem indexu lomu

Materiál: sklo
Průměr jádra: 50 μm
Průměr obalu: 125 μm
Útlum 1-10 dB/km



Jednovidové vlákno

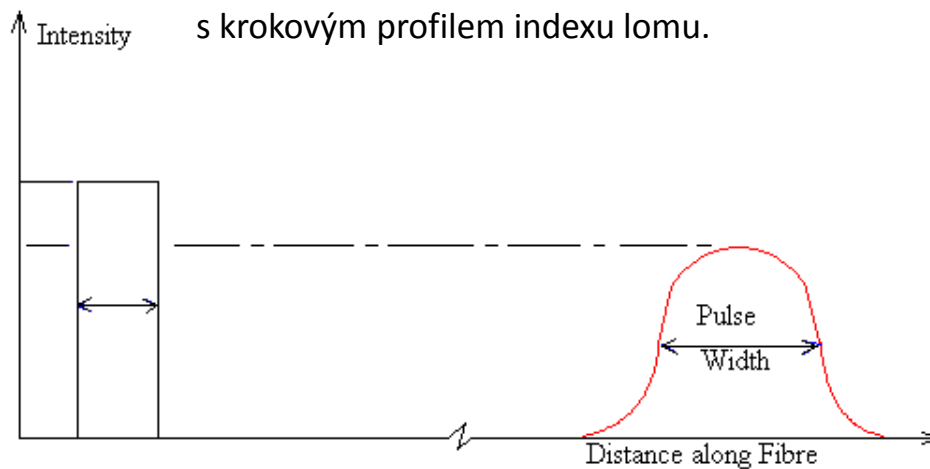
Materiál: křemenné sklo
Průměr jádra: 3-10 μm
Průměr obalu: 50 -125 μm
NA < 0.15 Útlum <1 dB/km



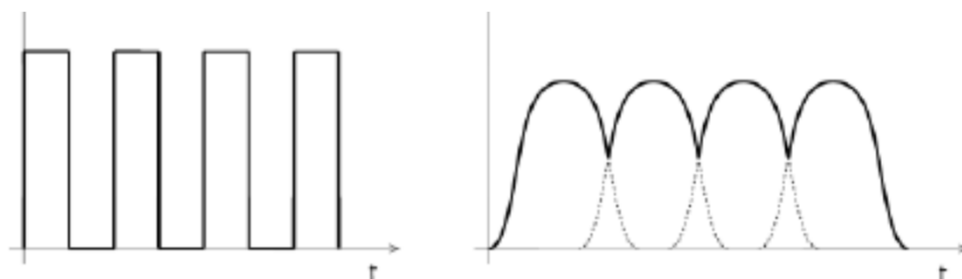
Jednovidová vlákna se zvýšenou polarizací



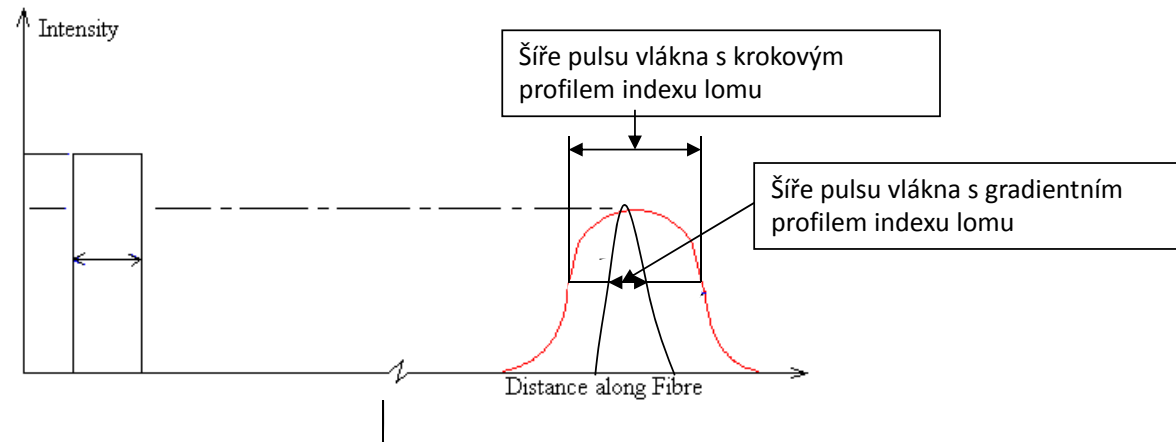
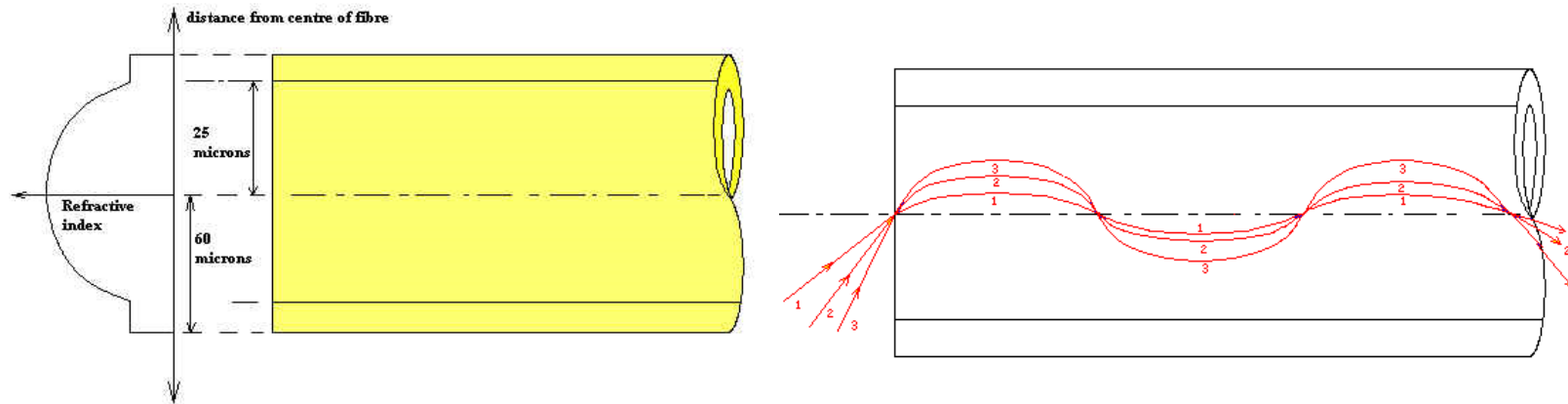
Přenos jednoho pulsu mnohavidovým vláknem
s krokovým profilem indexu lomu.



Přenos více pulsů mnohavidovým vláknem s krokovým
profilem indexu lomu.

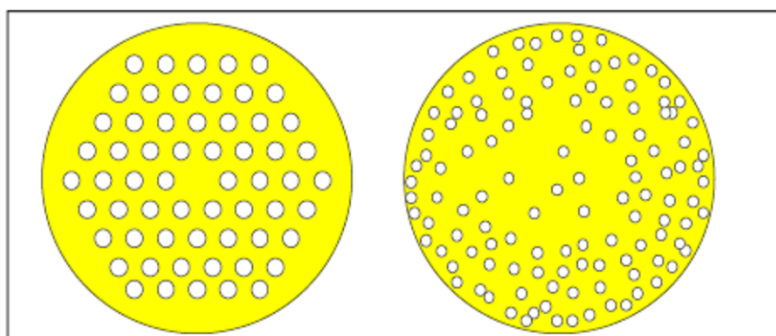


Přenos světla ve vlákně s gradientovým profilem indexu lomu.

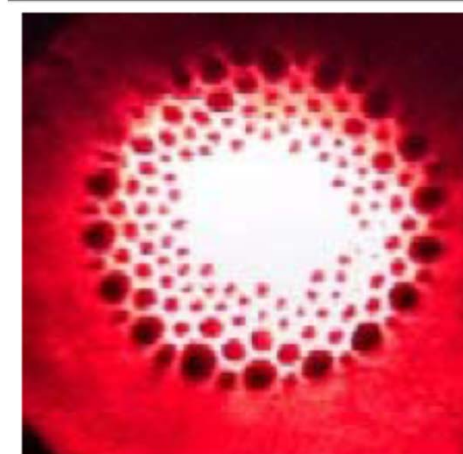


Mikrostrukturní polymerní optická vlákna (photonic crystal fibres), dřevá vlákna.

Struktury jako malé bublinky s průměrem mikronového rozměru.

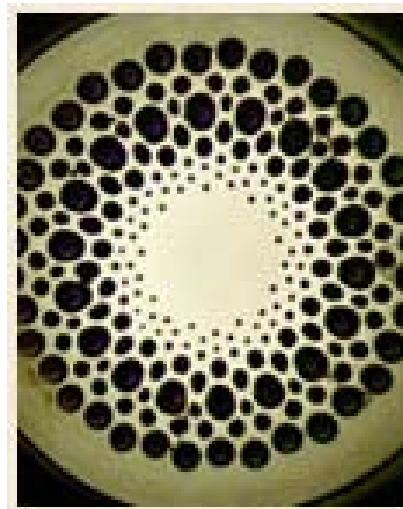


Mikrostrukturní vlákno efektivní změna indexu lomu





Příprava preformy
křemenného optického
vlákna



Polymerní optické vlákno s
dutým jádrem



Útlum světla

Útlum světla ve vlákně = záporný dekadický logaritmus poměru intenzity výstupního a vstupního světla.

$$\text{Attenuation} = 10 \log_{10} \left(\frac{I_{out}}{I_E} \right)$$

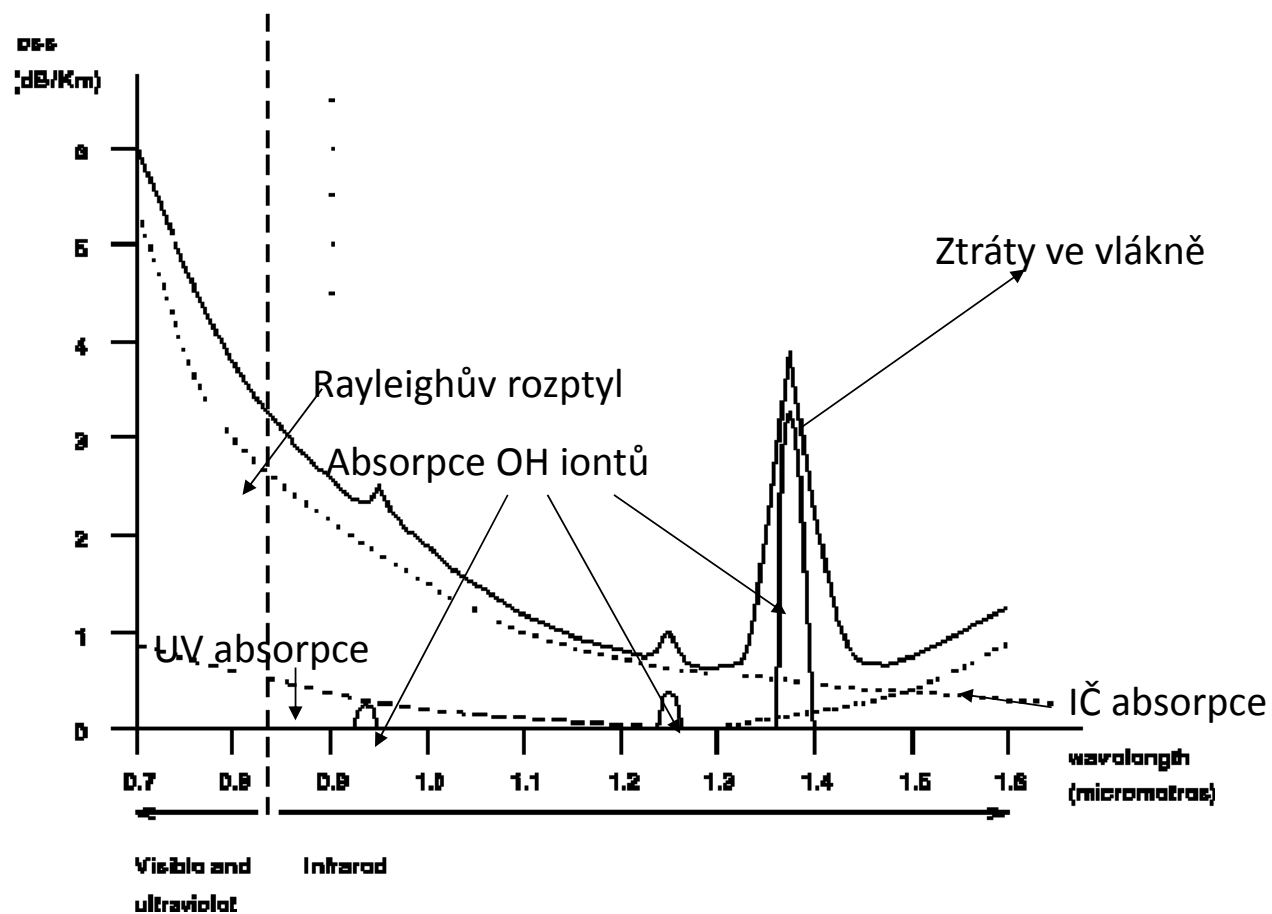
db/km



Ztráty světla ve vlákně materiálem:

- ❖ Jestliže je původní intenzita světla I_0 a po proběhnutí vzdálenosti X se sníží na I , pak platí
- ❖ $I = I_0 \exp(-\alpha_t X)$
- ❖ Kde α_t je celkový koeficient útlumu skládající se ze dvou částí – rozptylové α_r a absorpční α_a
- ❖ $\alpha_t = \alpha_r + \alpha_a$

Ztráty světla ve vlákne z křemenného skla

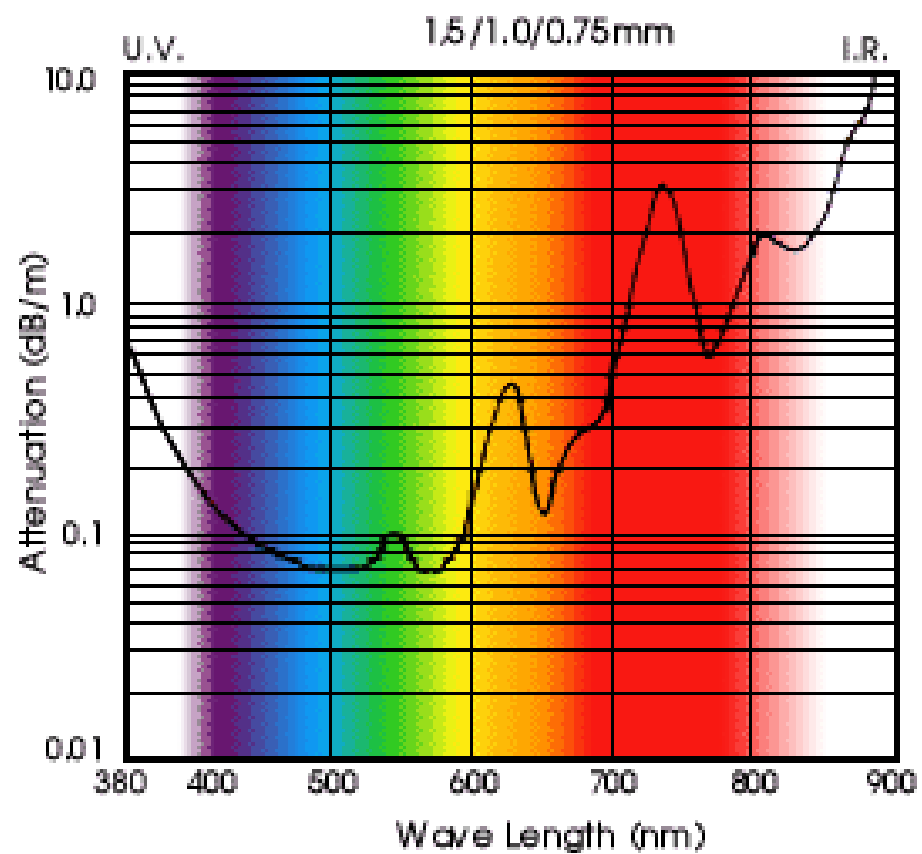


Závislost útlumu na vlnové délce přenášeného světla pro světlovod s jádrem s vysokým obsahem SiO_2 .



Útlum v plastovém vlákne je o tři řády vyšší než ve skleněném vlákne.

Útlum plastového vlákna



Ztráty světla v optickém vlákně

Ztráty lokálními změnami indexu lomu pokud jsou způsobeny nehomogenitami srovnatelnými s λ/n_1 (Raleighův rozptyl) jsou úměrné $1/\lambda^4$.

Nehomogenity mající rozměr $\lambda/n_1 < \Lambda < 1$ mm rozptylují světlo především směrem dopředu. Tento typ rozptylu se nazývá Mieův rozptyl. Zdrojem tohoto typu nehomogenit jsou např. nepravidelnosti na rozhraní jádra a obalu, tlak, bubliny, fluktuace průměru vlákna a mikroohybové ztráty.

- Mikroohybové ztráty vznikají interferencí povrchové mechanické vlny s vedeným videm.
- Ztráty způsobené nelineárním rozptylem:
- Stimulovaný Brillouinův rozptyl a Ramanův rozptyl objevují se ve vláknech v případě přenosu velmi vysokých energií. Energie z jednoho vidu může být přenesena do jiného vidu ve směru dopředu ale i dozadu a frekvence je posunuta.



Rayleighův rozptylový koeficient

Rayleighův rozptylový koeficient α_r je úměrný některým materiálovým parametrům podle rovnice

$$\alpha_r \sim n^8 \cdot p \cdot (T + T_g) / \rho \cdot v^2$$

kde n je index lomu, p je fotoelastický člen, ρ je hustota, v je rychlost zvuku, T je teplota a T_g je teplota skelného přechodu. Hodnota p může být pro mnohé kapaliny a skla aproximována Lorenz-Lorenzovou hodnotou

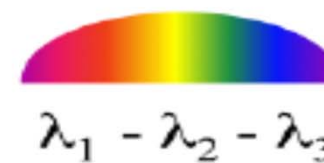
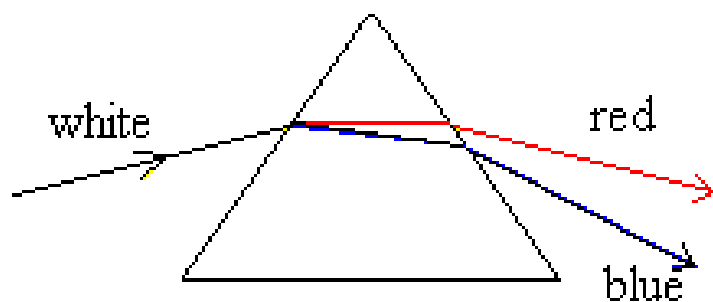
$p = (n^2 - 1) \cdot (n^2 + 2) / 3n^4$, která je téměř konstantní a rovna 0,35 pro n z oboru 1,5 – 2,5.

α_r bude tedy dominantně ovlivněn změnami n^8 a T_g .

Běžná skleněná vlákna mají $n \sim 1,46$ a $T_g \sim 1400$ °C.



Ztráty chromatickou disperzí.

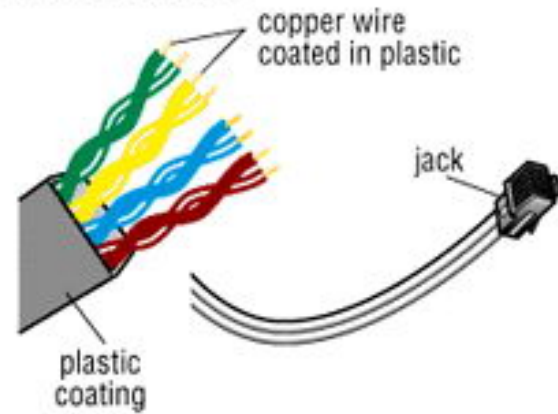


Rozložení světla na vstupu a výstupu z optického vlákna.

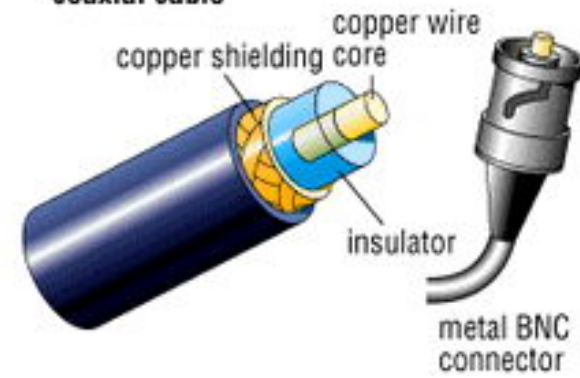


Optické kabely

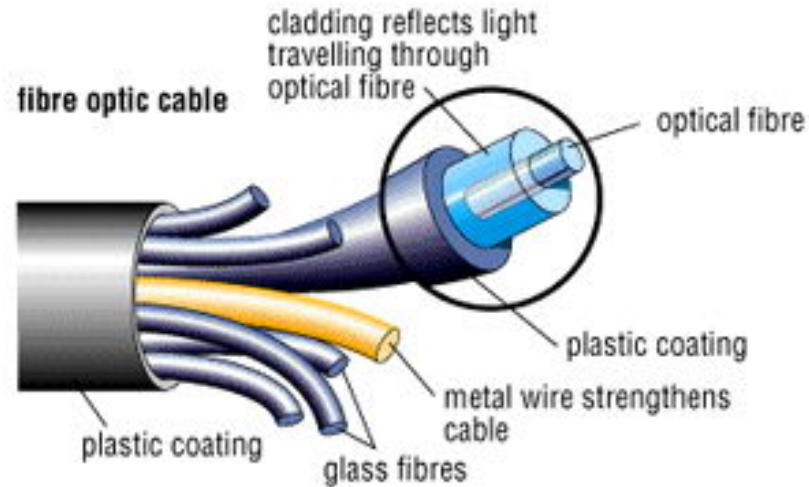
twisted pair cable



coaxial cable



fibre optic cable

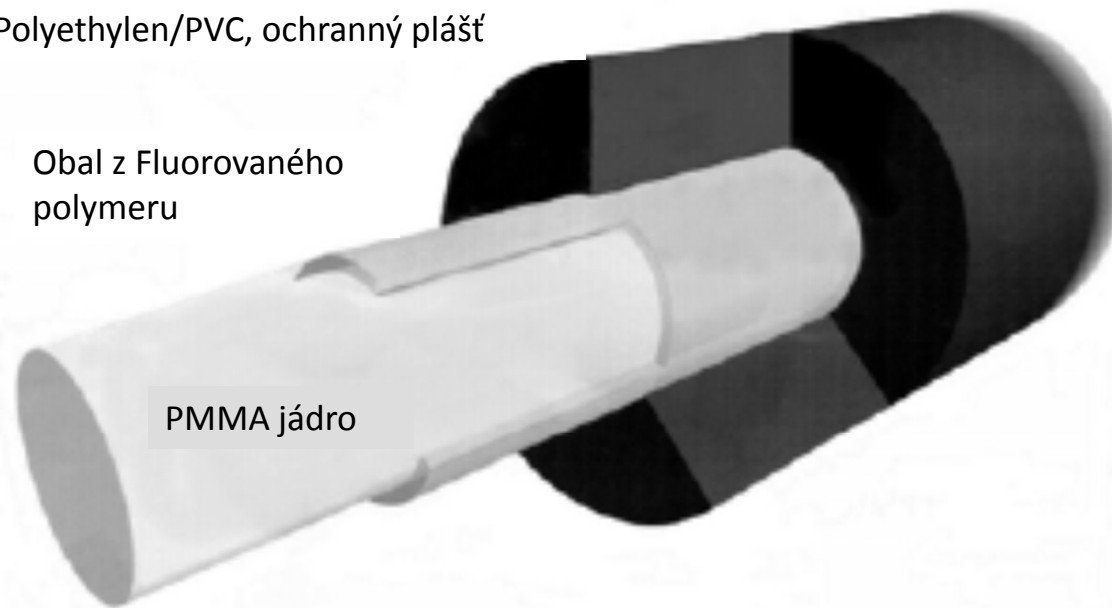


Polymerní optické vlákno

Polyethylen/PVC, ochranný plášť

Obal z Fluorovaného
polymeru

PMMA jádro



Standartní PMMA (poly(methylmethakrylátové))
step-indexové vlákno (POF)

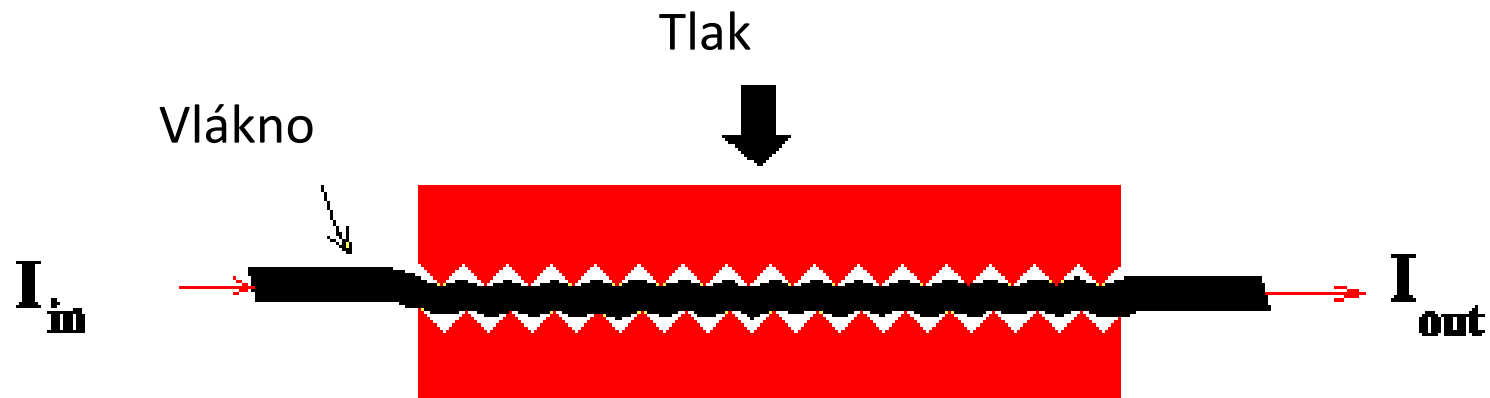


Optický vláknový sensor.

- ❖ Vnější – optické vlákno je použito k přenosu světla od zdroje světla k citlivého elementu a zpět k detektoru.
- ❖ Vnitřní – vlnovodná struktura vlákna je součástí citlivého elementu.
- ❖ Všechny typy ztrát ve vlákně se dají použít ke konstrukci vnitřního vláknového sensoru



Tlakový senzor založený na mikroohybových ztrátách.

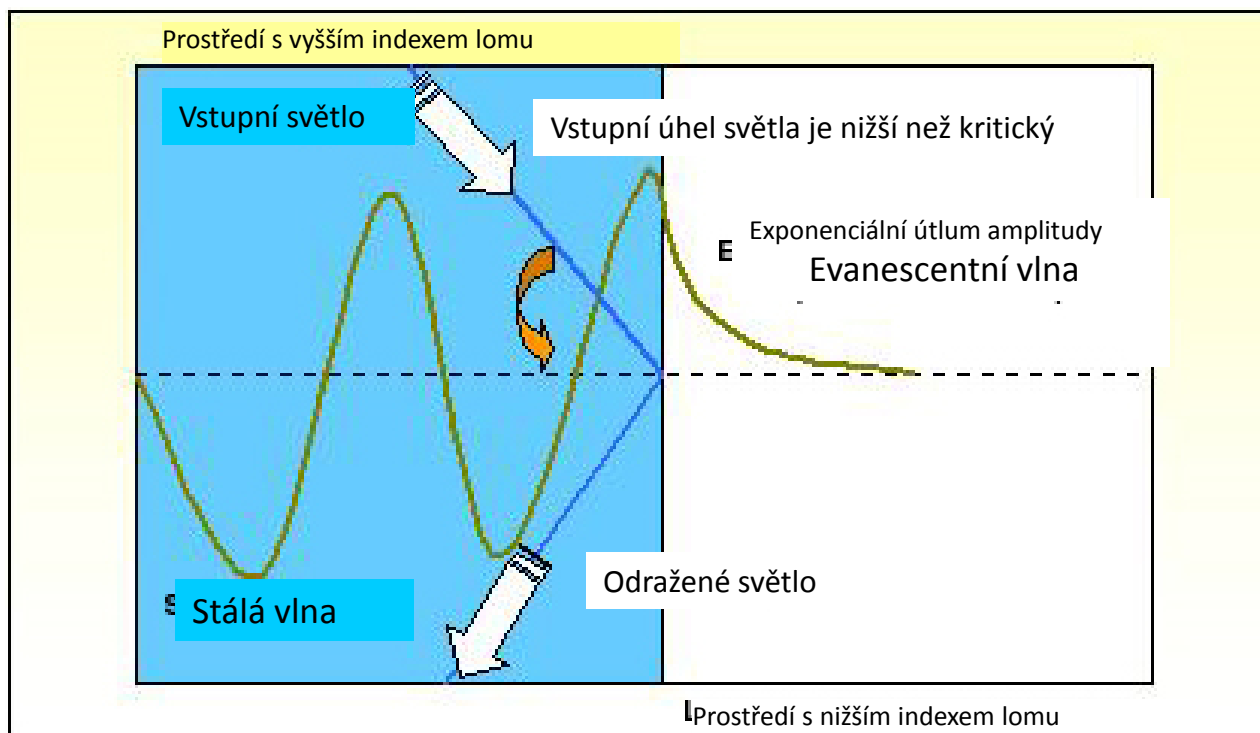


Evanescentní vlna

- Na rozhraní opticky hustšího a opticky řidšího prostředí malá část vlny se šíří kolmo k povrchu a vytváří tak elektromagnetické pole - evanescentní pole - v úzké oblasti opticky řidšího prostředí (penetrační hloubka). Když je dostatečně blízko rozhraní, evanescentní vlna může díky tunelovému efektu být spojena s vlnou, která se dále šíří. Penetrační hloubka je funkcí rozdílu indexů lomu úhlu vstupu paprsku a vlnové délky. Pro světelný paprsek mající konečnou šířku, evanescentní vlna prochází částečně opticky řidším mediem než vstoupí zpět do opticky hustšího media. Tato vzdálenost se nazývá Goos-Hanschenův posun a může být určena pro velmi úzké paprsky. Širší paprsky produkují evanescentní pole jehož intenzita může být měřena v jednotkách energie na plochu za sekundu. Intenzita evanescentního pole klesá exponenciálně se vzdáleností od povrchu:
- Kde $I(z)$ je intenzita v kolmé vzdálenosti od rozhraní z . $I(0)$ je intenzita na rozhraní. Charakteristická penetrační hloubka (d) pro vlnovou délku $\lambda(0)$ světla vstupujícího ve vakuu
 - $d = \lambda(0) / 4\pi(n_1^2 \sin^2 - n_2^2)^{-1/2}$
- Penetrační hloubka obvykle dosahuje 30-300 nm, je nezávislá na směru polarizace vstupního světla a klesá s rostoucím úhlem odrazu. Hodnota d je obvykle řádu vlnové délky vstupního světla. Když je úhel vstupu roven kritickému úhlu, d jde k nekonečnu.



Vznik evanescentní vlny

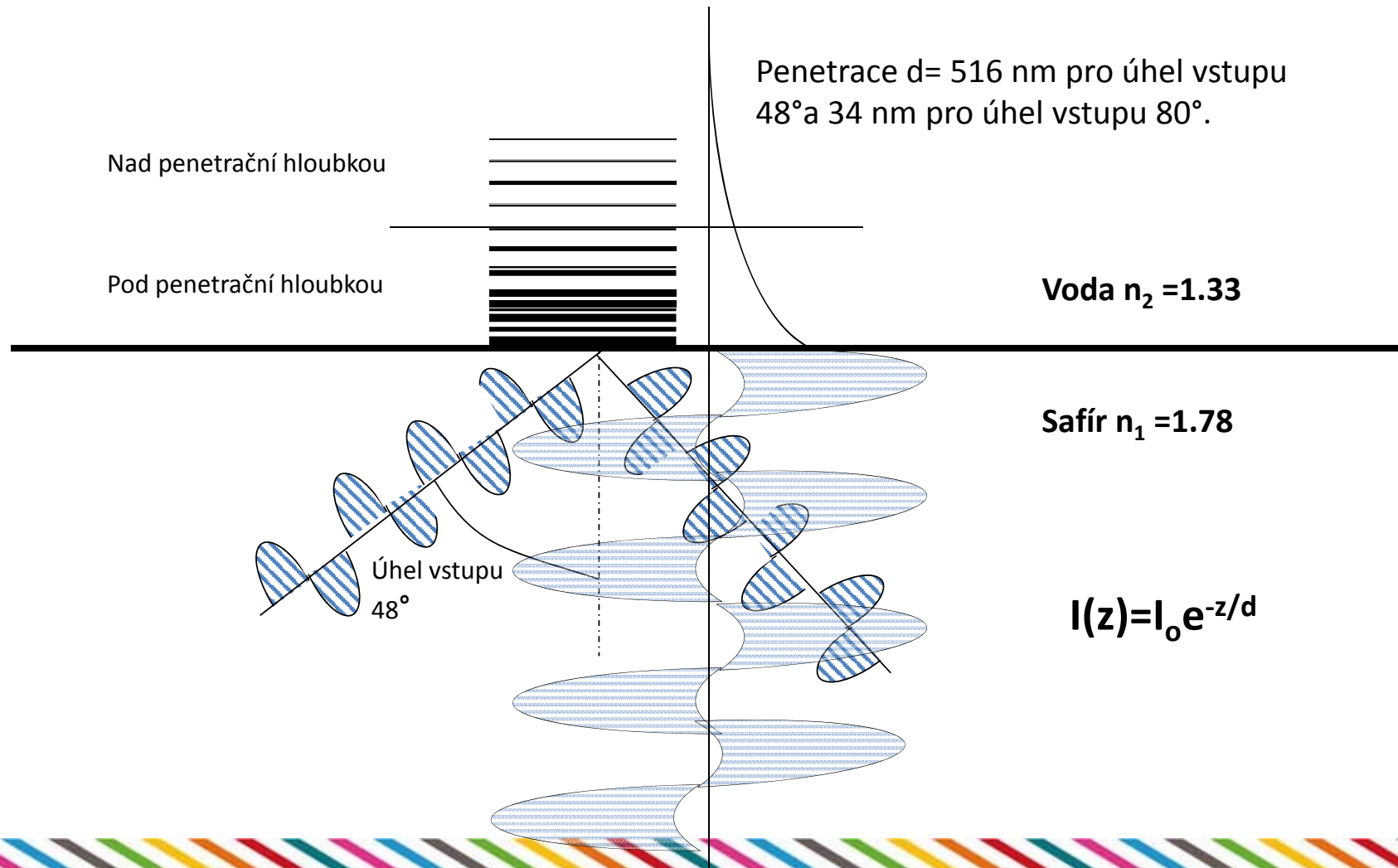


Biosenzory a evanescentní pole

- Chemické a biologické senzory využívají evanescentní pole k detekci nízkých koncentrací reagentů. Evanescentní pole je citlivé především ke změně indexu lomu obalu vlákna.
- Když je analyt absorbován v chemicky nebo biologicky aktivní vrstvě hranolu a v případě optického vlákna obalu, mění se index lomu a útlum TIR rozhraní. U sensorů využívajících mnohavidové vlákna se citlivost zvyšuje s počtem odrazů to znamená s vyšším přenášeným mode a vyšší numerickou aperturou.

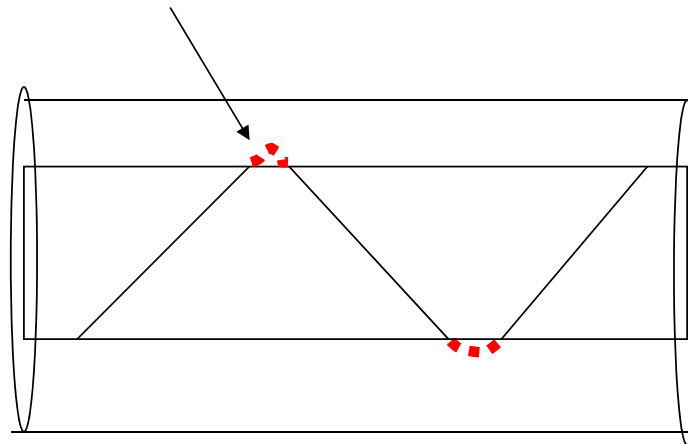


Evanescentní vlna



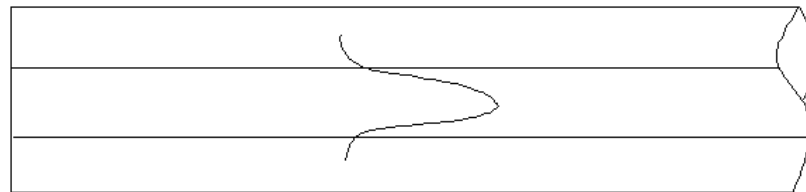
Evanescentní vlna v optickém vlákně.

- Model šíření světla vlnovodem představovaný miliony nekonečně tenkých paprsků dobře vysvětluje úplný odraz na rozhraní. Nicméně není to úplný obraz, protože světlo je také vlnou. To znamená, že se šíří prostorem přes sklo a přes jakékoli transparentní prostředí ve formě elektromagnetických vln, která jako všechny pohybující se vlny má tendenci se šířit při svém pohybu. Tato charakteristika nás vede k tomu abychom se hlouběji zabývali TIR na rozhraní. Část energie světelné vlny v jádře skutečně penetruje do optického obalu do velmi malé hloubky. To si můžeme představit jako únik z vlákna a okamžité navrácení. Toto drobné pronikání světelné energie do obalu se nazývá evanescentní vlnou.



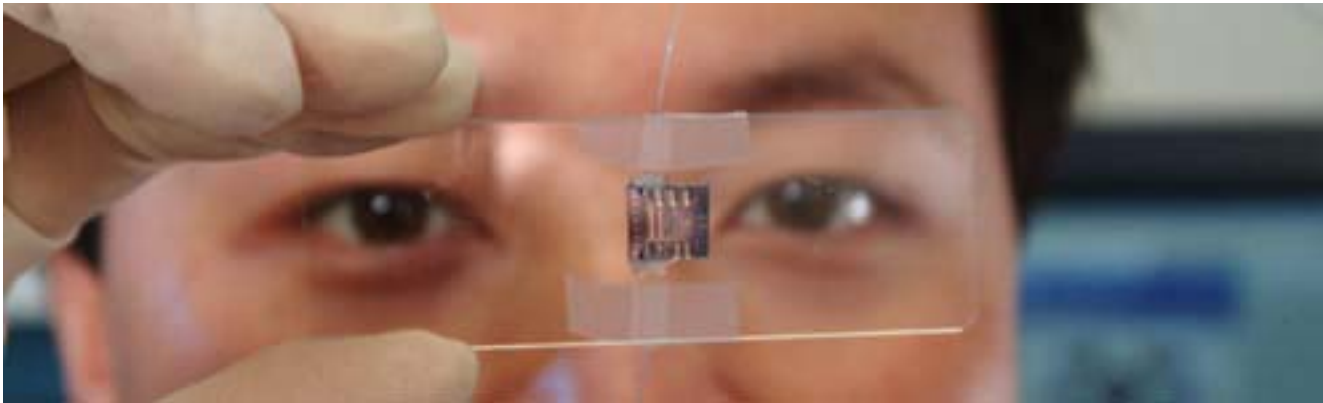
Evanescentní vlna v optickém vlákně.

- V jednojádrovém vlákně je vrstva světelné energie obklopující jádro všude podél. Energetický tok této evanescentní vlny je souběžný s povrchem jádra a ve stejném směru jako hlavní tok energie uvnitř jádra.
- Jednojádrová vlákna musí mít proto nejen jádro ale i obal z materiálu s velmi nízkým útlumem, protože evanescentní vlna představuje velkou část přenášené energie. Jestliže je hodně z této energie absorbováno obalem dochází k přenosu další energie z jádra tak aby byla absorbovaná energie nahrazena.



Evanescentní senzor pro detekci patogenních bakterií

Kontaminace potravin



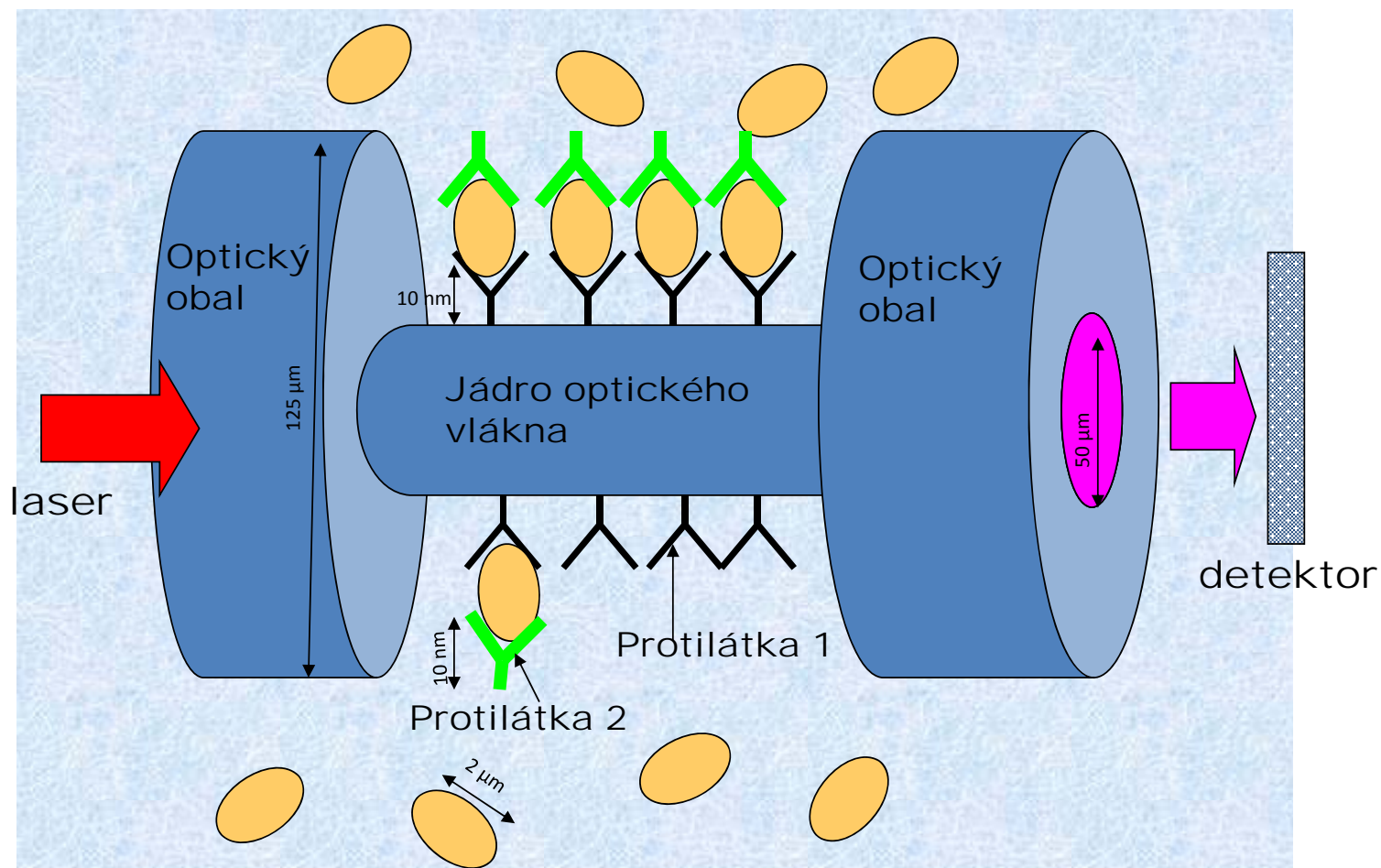
Listeria monocytogenes, *E. coli* O157:H7, *Campylobacter* spp.,
Salmonella spp.. R



Evanescentní senzor pro detekci patogenních bakterií.

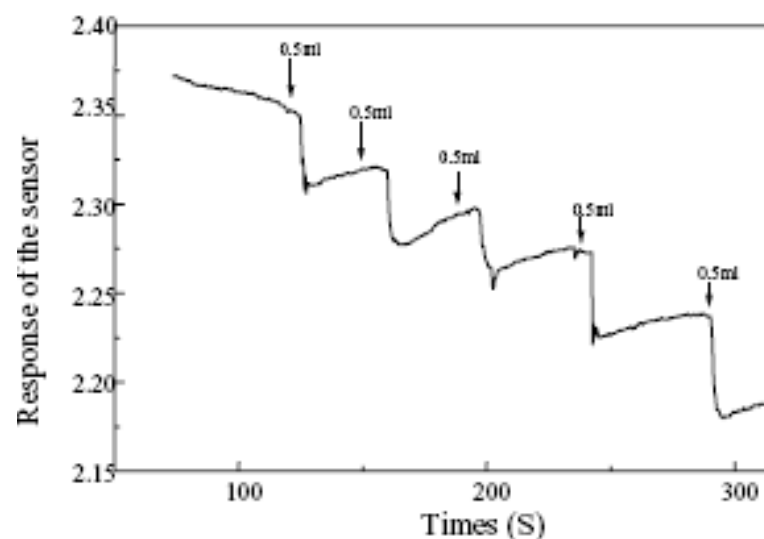
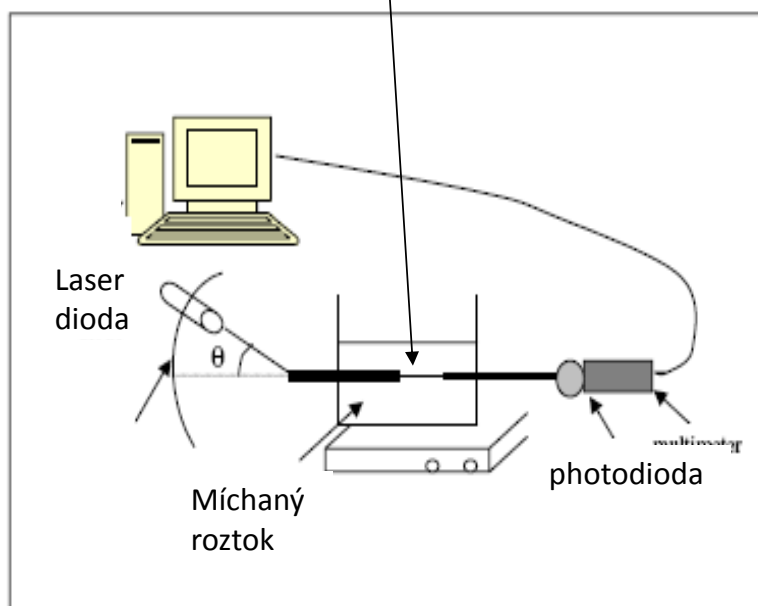
- ❖ Miniaturní senzor s optickými vlákny detekujícími patogení bakterie v tekutinách vyvinuly během 3 let na universitě Purdue.
- ❖ Průtočný senzor je tvořen optickým vláknem v jehož obalu jsou zakotveny protilátky specifické pro příslušné bakterie. Po ponoření do kapaliny bakterie je zachycena na povrchu vlákna. Přítomnost sledovaných bakterií je potvrzena přidáním další protilátky která kromě toho že rozliší nebezpečnou bakterii po ozáření laserem emituje fluorescenci. Tato protilátka složí vlastně jako praporek signalizující přítomnost pathogenu.
- ❖ Průtočný senzor je tvořen optickým vláknem v jehož obalu jsou zakotveny protilátky specifické pro příslušné bakterie. Po ponoření do kapaliny bakterie je zachycena na povrchu vlákna. Přítomnost sledovaných bakterií je potvrzena přidáním další protilátky která kromě toho že rozliší nebezpečnou bakterii po ozáření laserem emituje fluorescenci. Tato protilátka slouží vlastně jako praporek signalizující přítomnost pathogenu.

Evanescentní senzor pro detekci patogenních bakterií (schema detekce)



Evanescentní vláknový senzor toluenu

Citlivá část : 30 cm křemenné vlákno, průměru 400 μm , pokryté xerogelem.

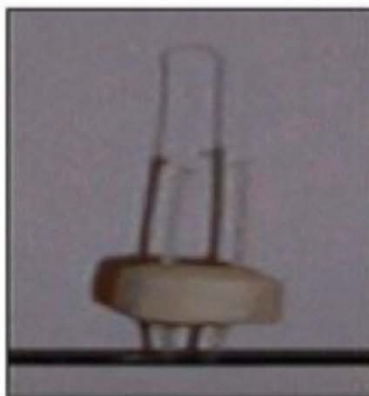
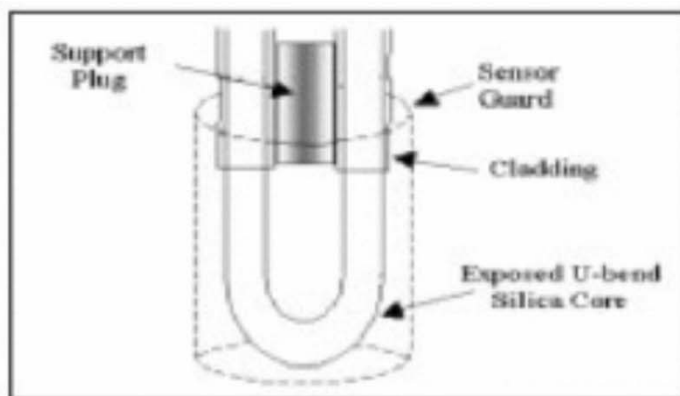
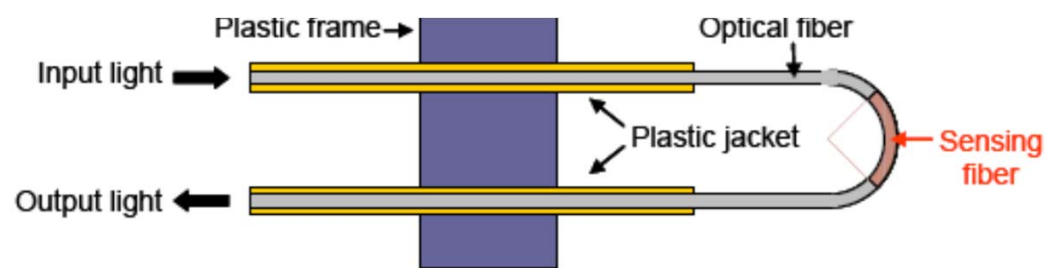


Vliv přidavku toluenu do vody na přenos světla vláknem s obalem z xerogelu.

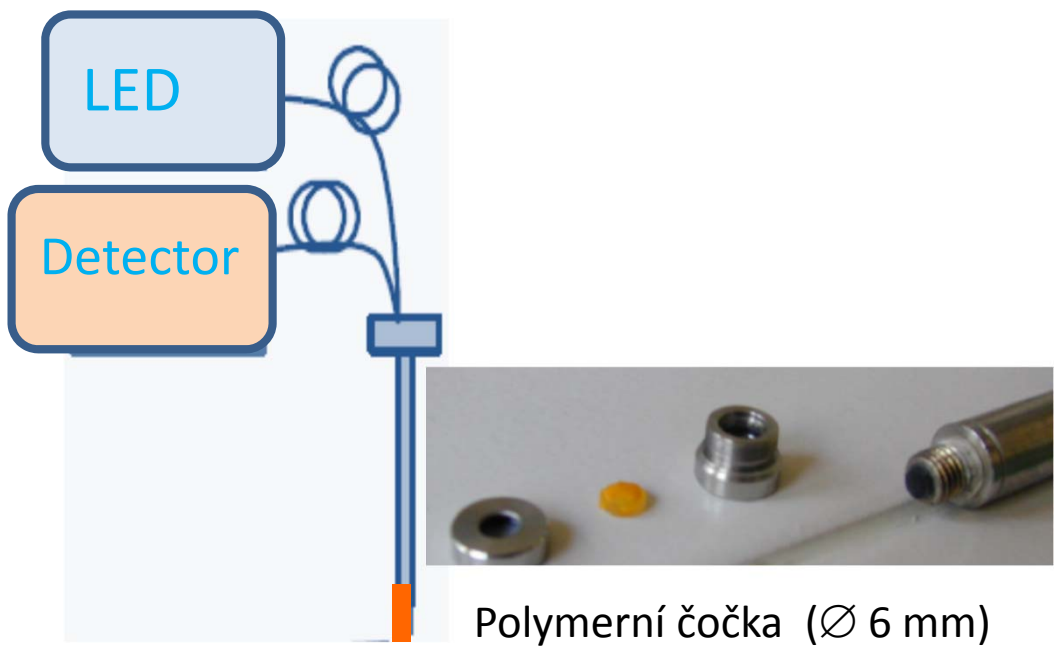
Sensors **2002**, 2, 195-204

Evanescentní vláknový senzor toluenu zesílení evanescentního pole ohybem

1) Ohybem vlákna $d \sim 1-10$ mm, Zvýšením počtu vidů blízkých rozhraní jádra a obalu.

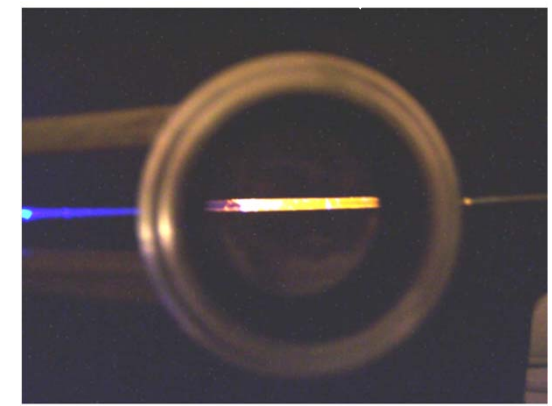
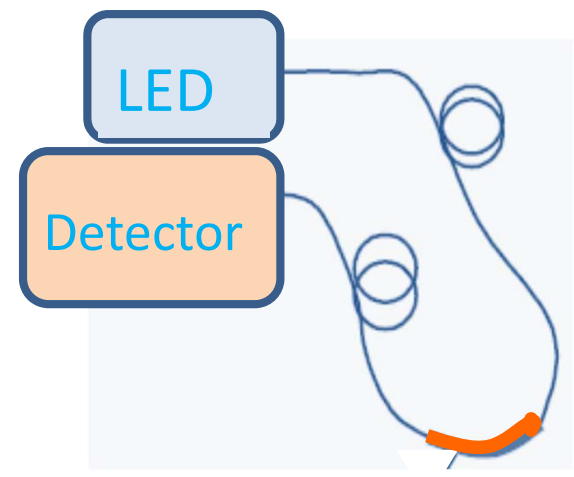


Optický senzor kyslíku reflexní a evanescentní.



Polymerní čočka (Ø 6 mm)

Citlivá vrstva – rutheniový komplex v ORMOCER®u.



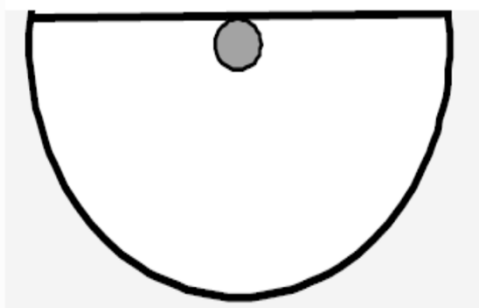
Ohnuté polymerní vlákno (Ø 1 mm)



Zlepšení přístupu do evanescentního pole.

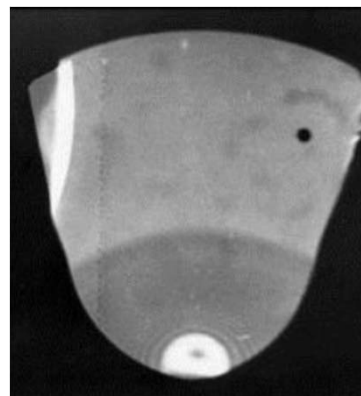
D-vlákno

použito pro detekci metanu.



G. Stewart, W. Jin, B. Culshaw, Sens. Act. B 38, 42-47, 1997
Rovněž pro SPR senzory-viz část SPR

Sektorové vlákno



Průměr jádra 30 μm
(vyšší citlivost 2 -5x ve
srovnání s křemenným
vláknem se
silikonovým obalem.

V. Matejec et al., Sens. Actuators B 38-39 (1997) 334-338

Excitace odkloněným
kolimovaným svazkem.

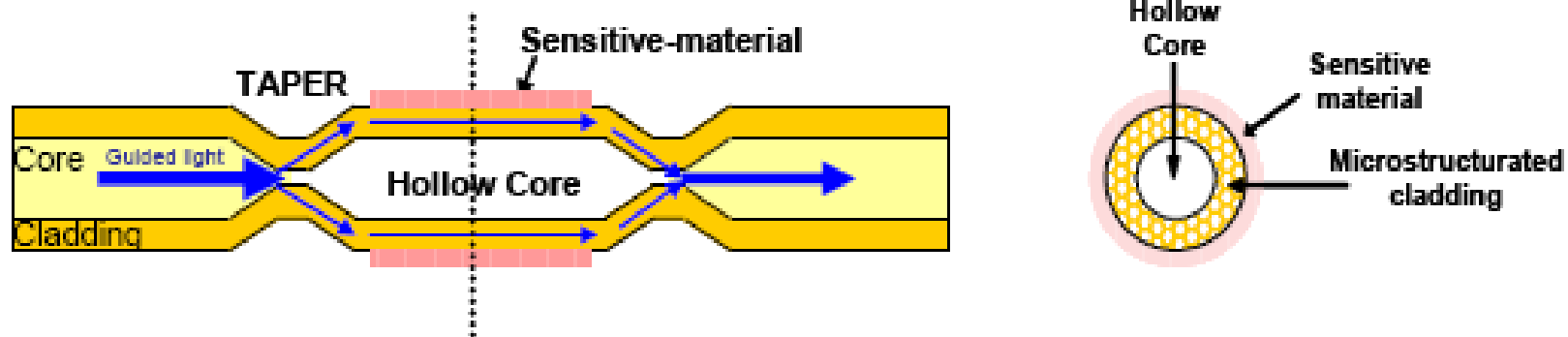


Vlákna se zabroušeným
vstupem.



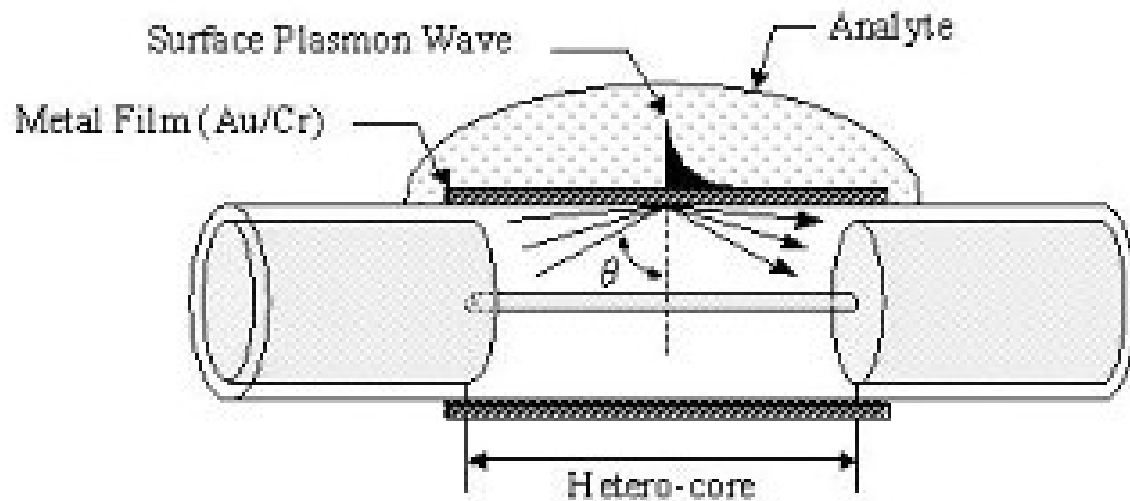
Zlepšení přístupu do evanescentního pole.

2) Duté vlákno s mikrostrukturovaným obalem mezi dvěma standartními mnohavidovými vlákny. Citlivý materiál může být také umístěn na obal.

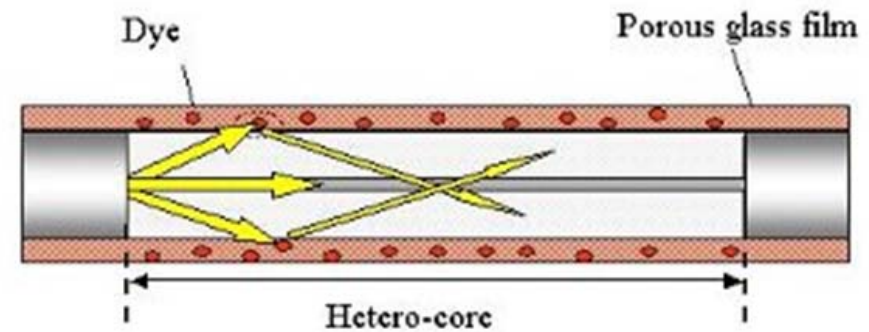


Prázdné jádro $n_p < n$ jádra i optického obalu

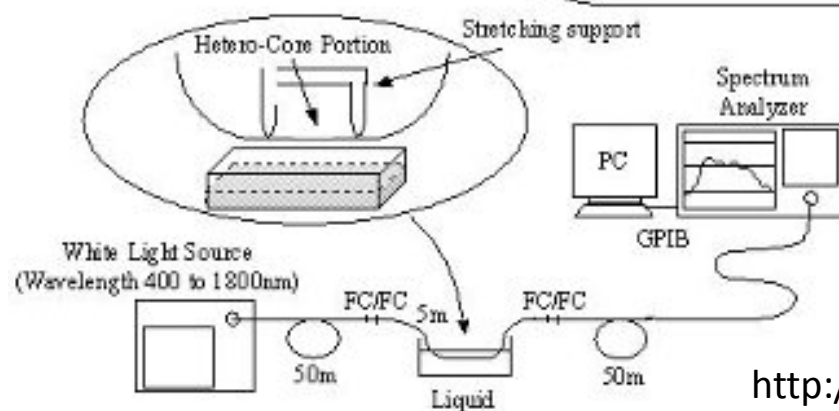
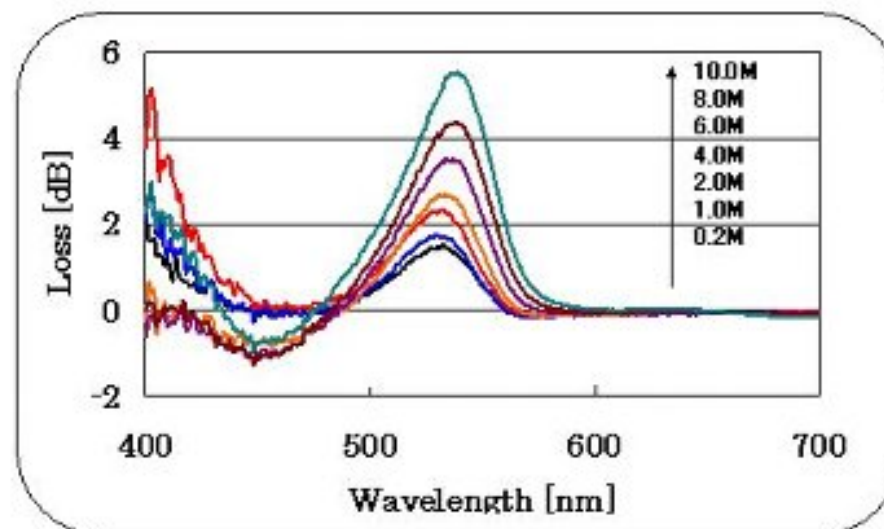
Derivativní typ optického vláknového senzoru



pH indikátor imobilizovaný
v sol-gelu pro měření pH a
kyselosti



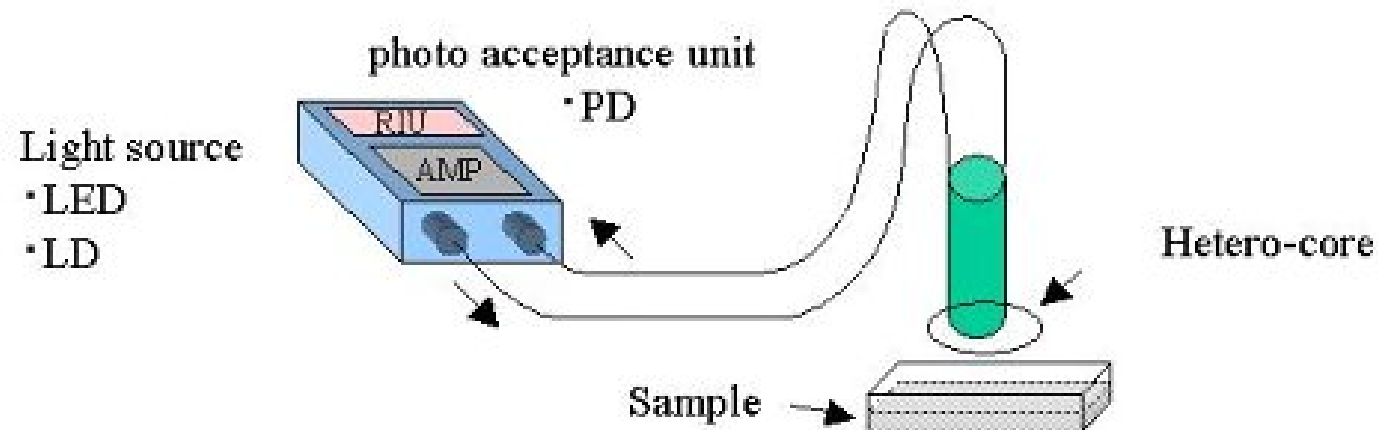
Acidity measurement with CCR dye (50-3-50 type)



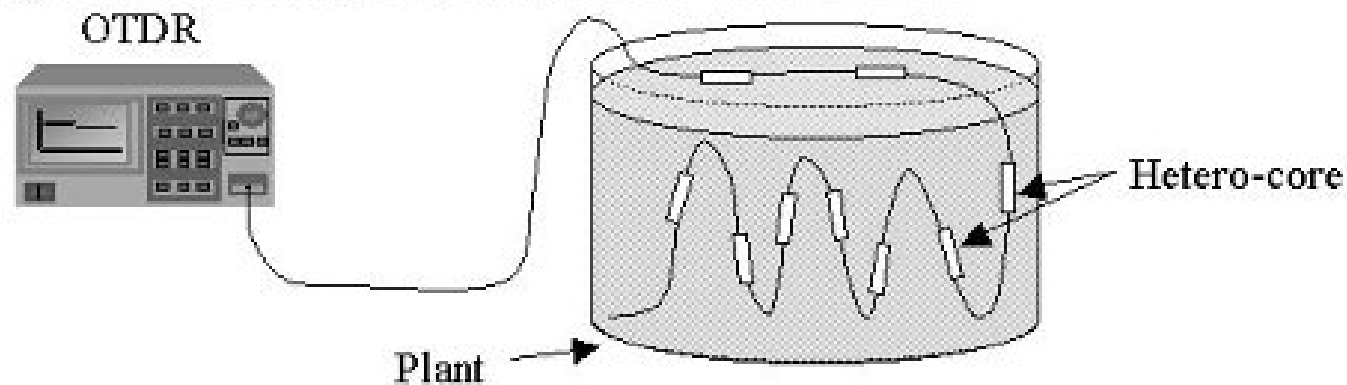
<http://www.t.soka.ac.jp/~watanabe/english/group/fiber.html>

An application system for liquid detection (50-3-50 type)

Sensor system with monochromatic light source and photo device



Sensor system of multipoint distributed with OTDR



<http://www.t.soka.ac.jp/~watanabe/english/group/fiber.html>

Evanescentní senzor - Měření změny indexu lomu

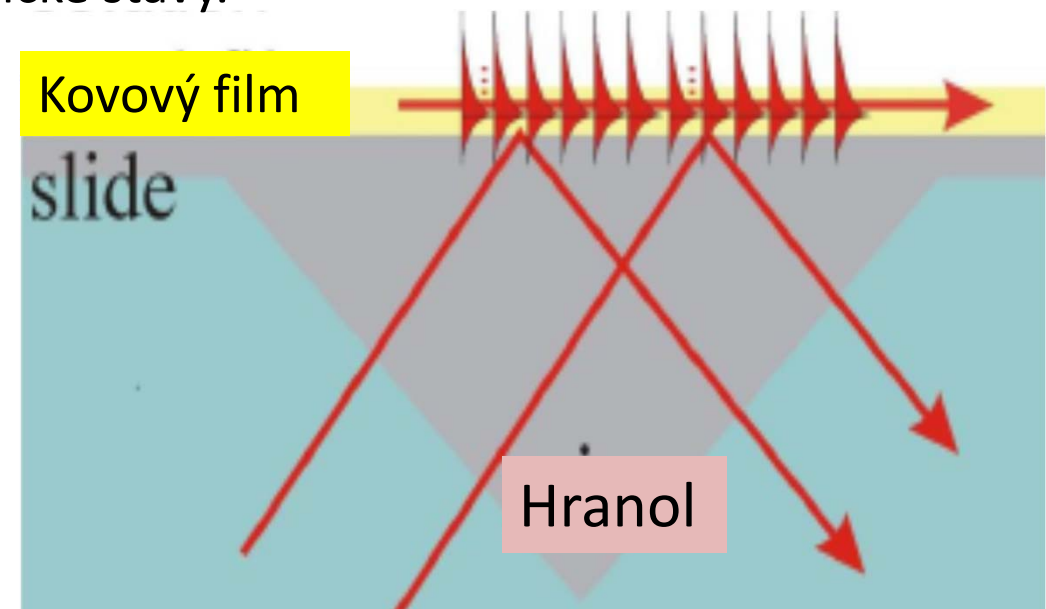
- Změna koncentrace látky (cukrovary)
- Monitorování znečištění vody
 - Tenký polymerní optický obal sorbující organické látky z vody
 - Toluén - PCS vlákno se silikonovým obalem
 - Chlorované uhlovodíky - chalkogenidové vlákno s polybutadienovým obalem
- Senzor bublin
- Senzor pěny
- Senzor nárůstu biomasy



Senzory s povrchovými plasmony (SPR)

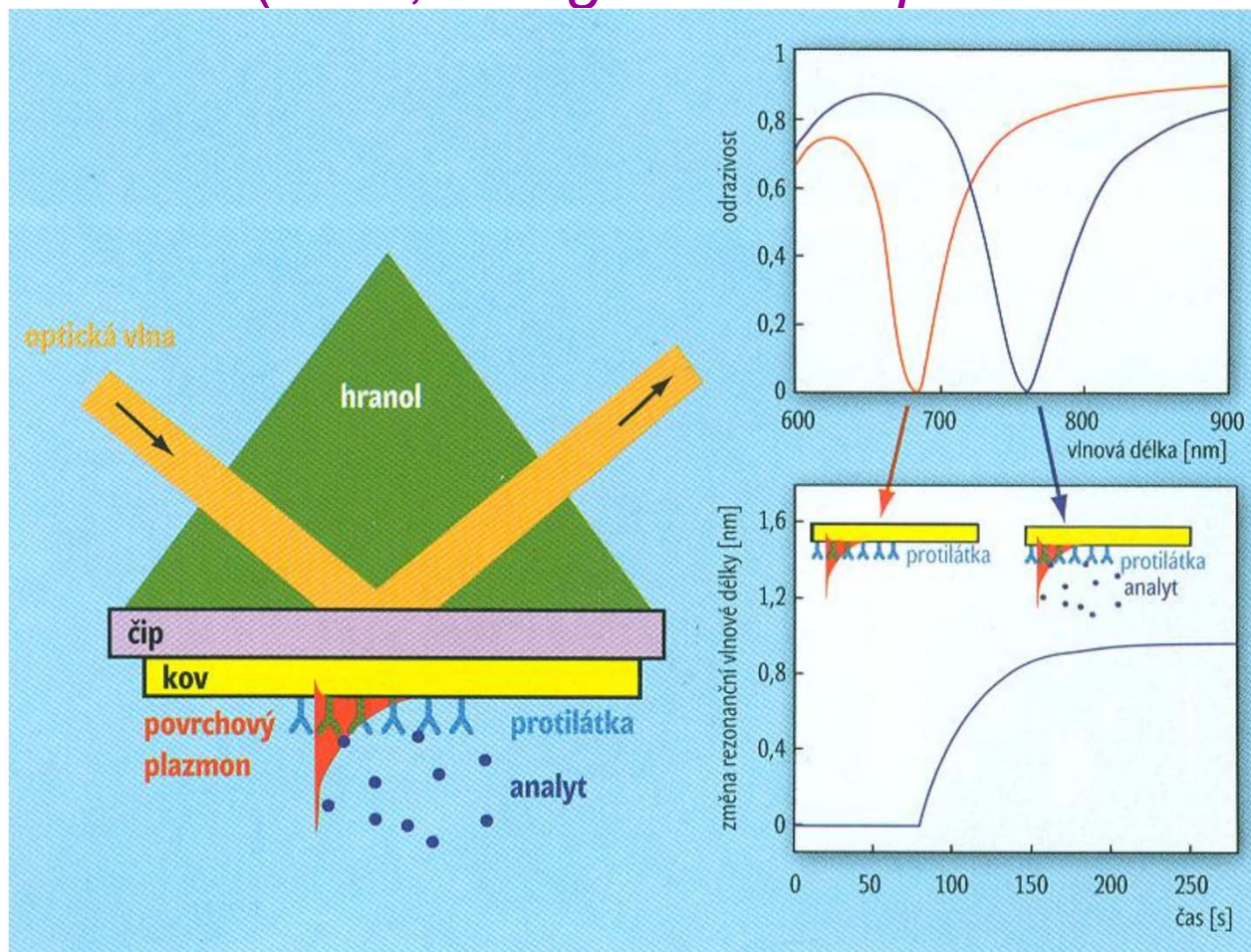
Povrchový plasmon = kolektivní oscilace elektronů ve vodivostním pásu. Rozhraní kov/ dielektrikum určuje jeho elektromagnetické stavy.

Povrchový plasmon (SP) je excitován evanescentní vlnou na rozhraní hranolu a roztoku. Evanescentní pole povrchového plazmonu zasahuje do roztoku. Při určité hodnotě parametru světla dojde k přeskoku elektronů.



Biosenzory založené na rezonanci povrchových plasmonu detekují změny indexu lomu v těsné blízkosti povrchu senzoru. Povrchové plasmony jsou excitovány světelnými vlnami a šíří se na rozhraní kov-dielektrikum. Takto vzniklé evanescentní pole sonduje biomolekuly u povrchu senzoru.

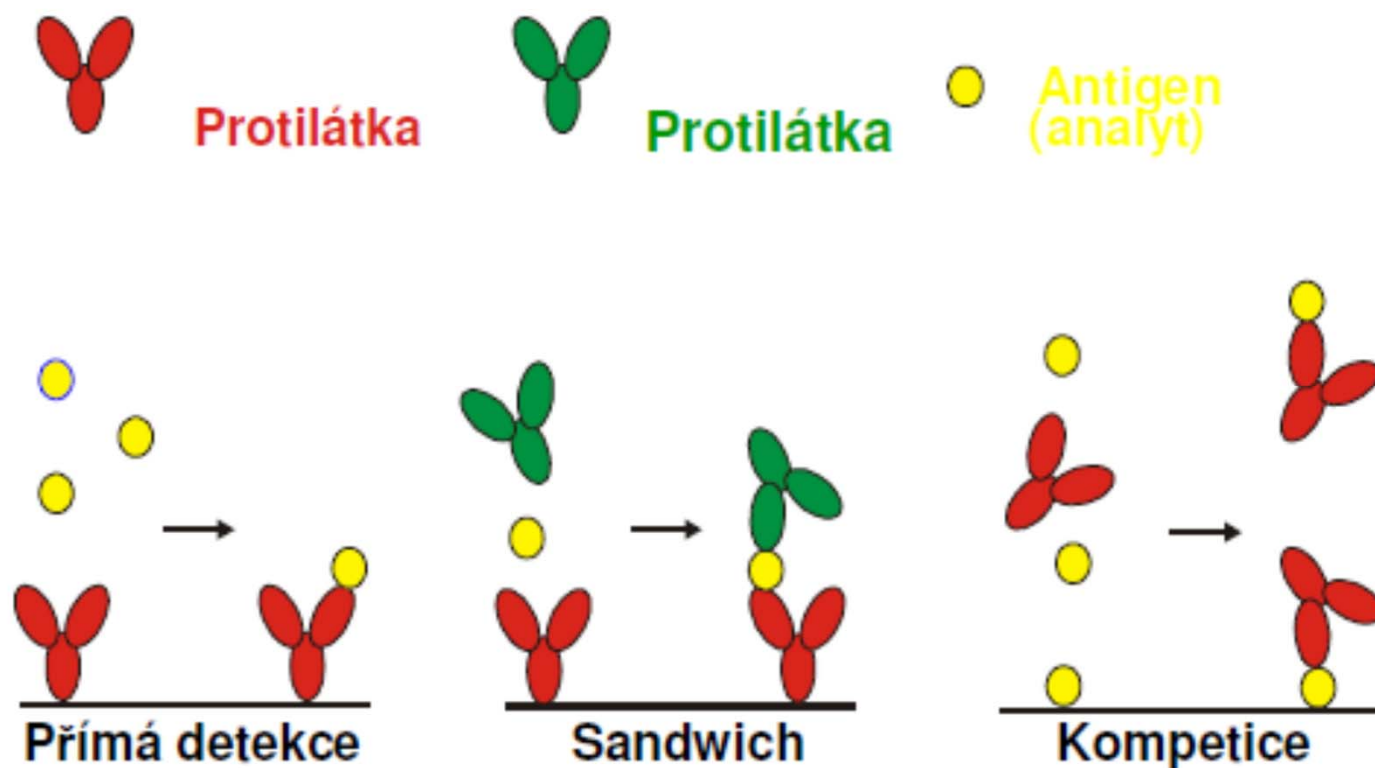
Optické biosenzory založené na excitaci povrchových plasmonů (SPR, z *angl. Surface plasmon rezonance*)



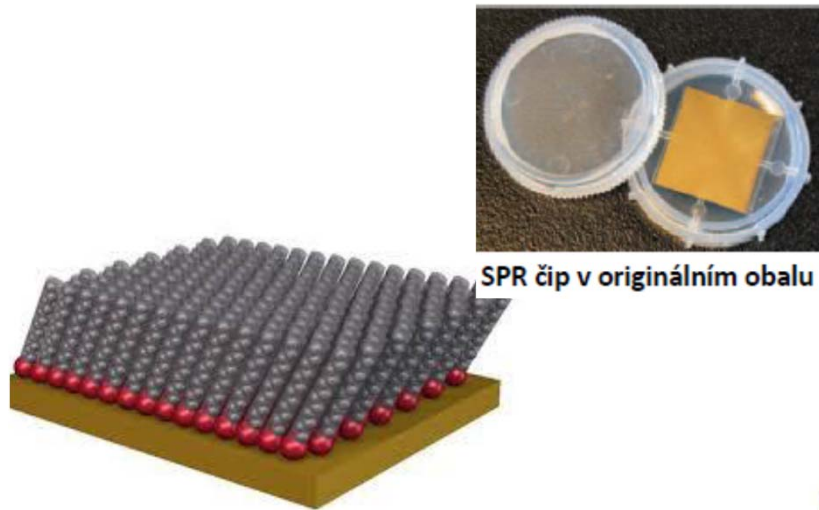
Používá se polarizované světlo, protože pouze vlny kolmé na rovinu povrchu mohou vyvolat SPR.

Nastaví se úhel dopadajícího světelného svazku a detekuje se odražené světlo od povrchu kovu. Při vlnové délce světla λ poloha SPR rezonance závisí na úhlu a indexu lomu vzorku

Detekční formáty používané pro SPR afinitní biosenzory



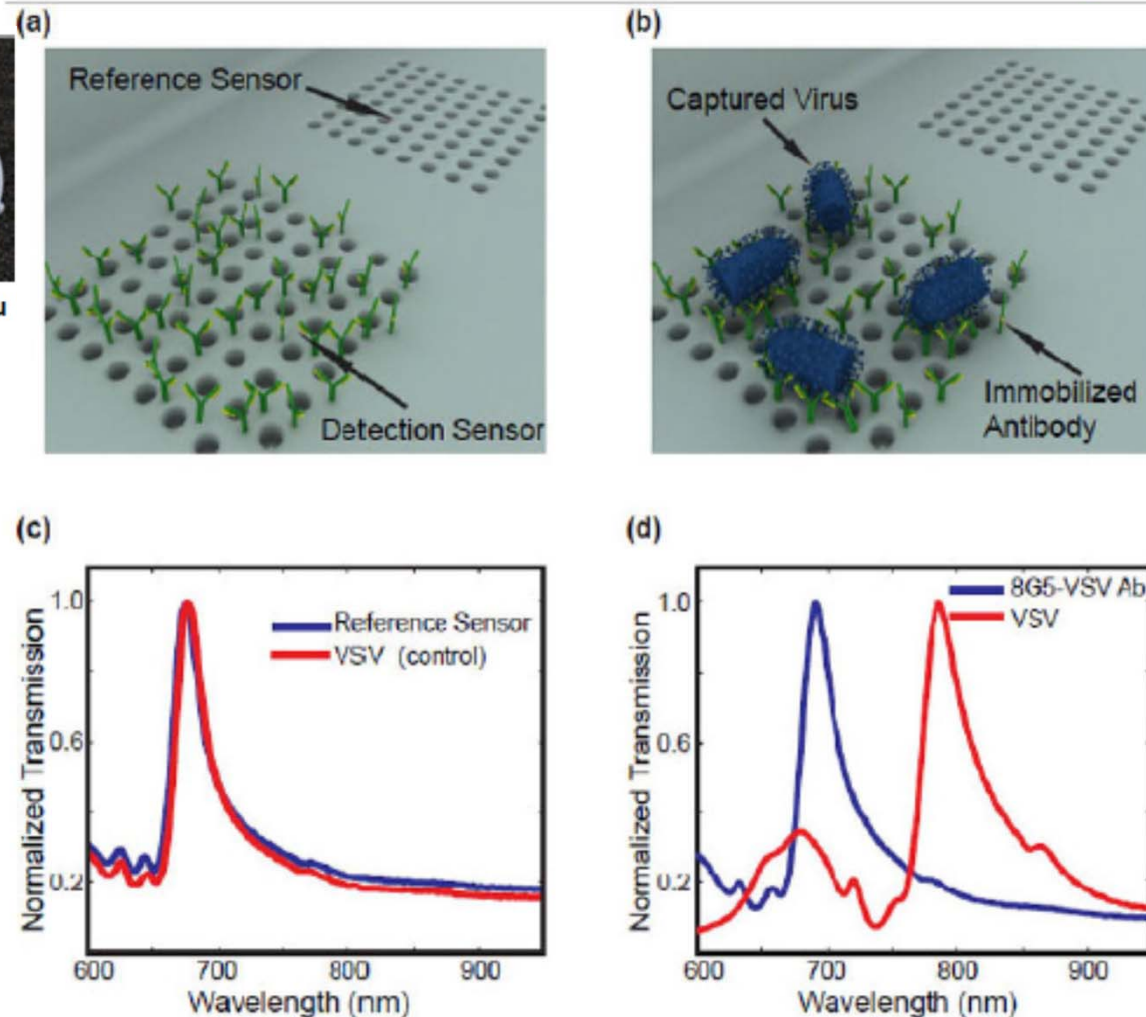
Povrchové úpravy SPR



Povrch zlata upravený organo- thiolem pro navázání biomolekul.

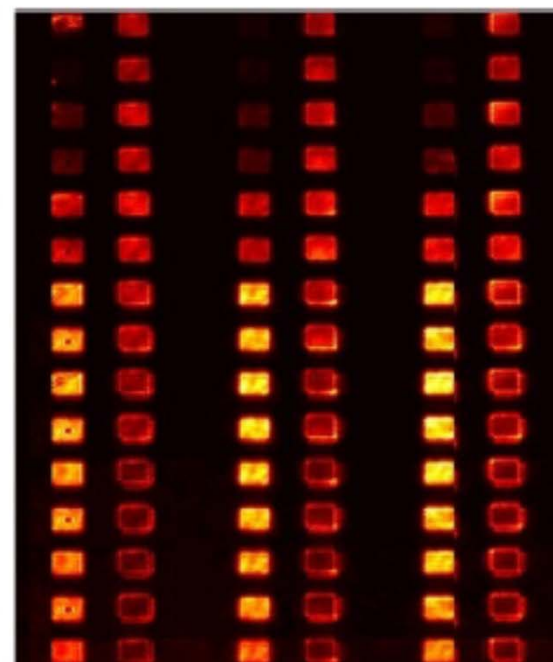
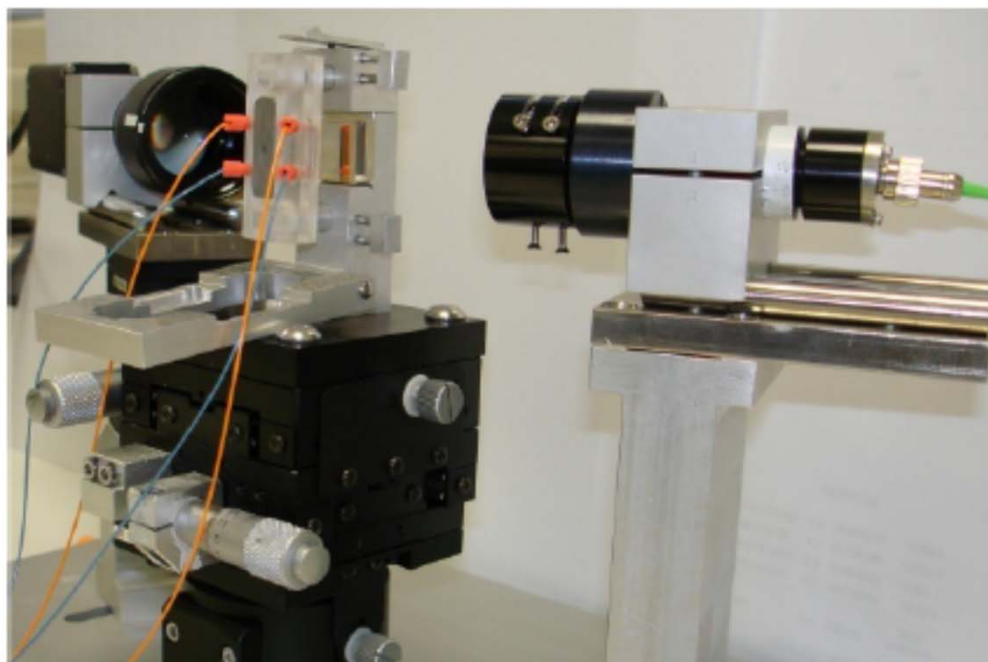
Princip SPR senzoru virů – Přítomnost virů v testované kapalině se projeví zvýšením vlnové délky světla procházejícího perforovanou folií čidla v porovnání s kontrolním signálem. (H.Altug, Boston University, USA)

<http://www.osel.cz/5405-plazmony-pomahaji-odhalovat-viry.html>



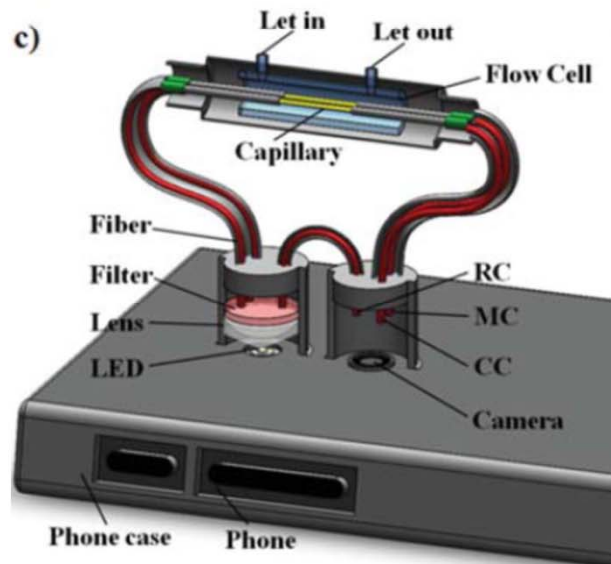
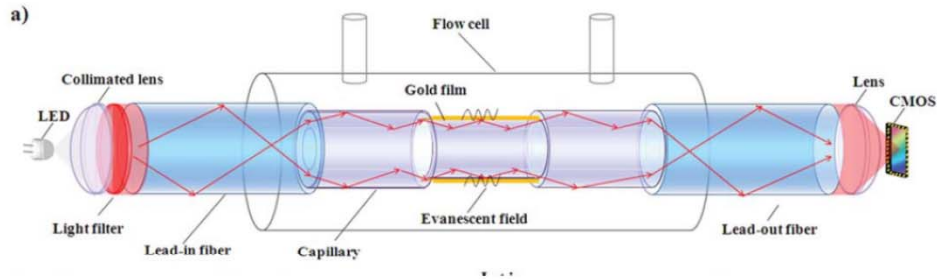
SPR biosenzory , UFE, J. Homola

V laboratoři optických senzorů ÚFE AVČR byl navržen a realizován SPR biosenzor s vysokou propustností. Systém je založen na úhlové spektroskopii povrchových plazmonů na souboru difrakčních mřížek tvořících sensorový čip. Skanováním svazku po povrchu čipu lze přečíst více než 200 měřících kanálů během několika desítek sekund.



71. Mehrkanalový SPR senzor – senzor využívající zobrazování povrchových plazmonů (vlevo) a typický měřicí obraz (vpravo)

SPR Biosensor využívající Smart Phone



Surface Plasmon Resonance
Biosensor Based on Smart Phone
Platforms

Yun Liu¹, Qiang Liu¹, Shimeng Chen¹, Fang Cheng¹, Hanyi Wang¹ & Wei Peng¹

www.nature.com/scientificreports