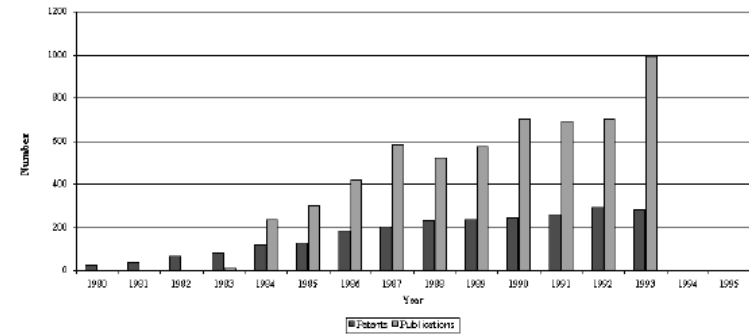


Optické senzory pro měření v chemických a biochemických reaktorech III

Měření v reaktorech off-line, on-line pomocí senzorů.
Vlastní návrh optického sensoru (5 minut).

27.11.2006

1



Růst publikací a patentů o optických senzorech.

2

Výhody optických měření

- Pasivní, může být použit ve výbušném prostředí
- Necitlivý k elektromagnetickému rušení. Ideální pro měření v mikrovlnných zařízeních
- Odolný vysokým teplotám a agresivnímu chemickému okolí
- Malé rozměry: ideální pro zabudování a montáž na povrchu.
- Vysoký stupeň biokompatibility: neruší bio-procesy, je elektromagneticky imunní, ideální pro lékařské aplikace jako rozšiřování.
- Může monitorovat celou řadu fyzikálních a chemických parametrů
- Možnost velmi vysoké citlivosti rozsahu a rozlišení.
- Úplná elektrická izolace od vysokého elektrostatického potenciálu.
- Použití ve vzdálených místech, i několik kilometrů, bez snížení citlivosti. Ideální pro rozmístění ve vrtech a v nebezpečném prostředí.
- Multiplexní a distribuované senzory jsou jedinečné v tom, že poskytují měření ve velkém počtu bodů podél jediného optického kabelu.
- Ideální pro minimalizaci počtu a váhy kabelů nebo pro monitorování rozsáhlých struktur jako jsou potrubní sítě a přehrady.

3

Obsah:

- Co můžeme měřit pomocí optických vláknových senzorů
- Optické měření teploty
- Změny přenosu světla využívané k optickým měřením
- Rozdělení optických senzorů
- **Lineární polarizace světla.**
- **Kruhově polarizované světlo**
- **Sagnakov jev**
- **Kerrův elektrooptický jev**
- **Optický Kerrův jev, Soliton**
- **Faradajův jev**
- Optická měření protékající kapaliny
- Senzor změny indexu lomu.
- Měření vzdálenosti
- REFLEXNÍ SENZORY
- Bodový senzor založený na Fabry–Perotově dutině.
- Integrovaný senzor deformace
- Multiplexní senzor s Braggovou mřížkou ve vlákně
- Distribuované senzory
- Extrinsický Fabry-Perottův interferometr s laserovou diodou.

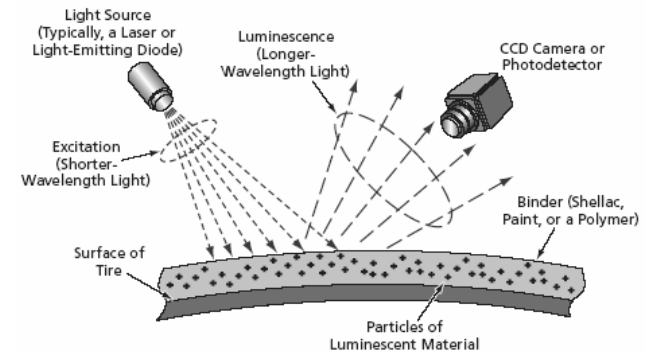
4

Co můžeme měřit pomocí optických vláknových sensorů:

- Tlak
 - Průtok
 - Hladinu
 - Pozici
 - Rotaci
 - Magnetické pole
 - Elektrické pole
 - Akustické pole
 - Radiaci
 - Napětí
 - Rychlost
 - Zrychlení
- Teplotu
 - Měření radiace (pyrometr 600-2000°C.
 - interferometricky Fabry Perrot
- Teplotní koeficient a index lomu jsou funkcí teploty
- Teplotní závislost luminoforu
 - Rozptyl světla
 - Polarimetricky Broadband polarimetric differential interferometric temperature sensor (BPDI)
- Chemické sloučeniny
 - Biologické komponenty

5

Luminiscenční barva je navázána na povrch pneumatik a ty jsou ozářeny a je pozorována luminiscence jako indikátor teploty.



Teplota je měřena na základě známé závislosti:

- 1) Intensity luminiscence na teplotě (při konstantním ozařování)
- 2) Času nebo frekvence (při pulsním ozařování)
- 3) Fázového posunu luminiscence (v případě sinusově proměnného ozařování).

6

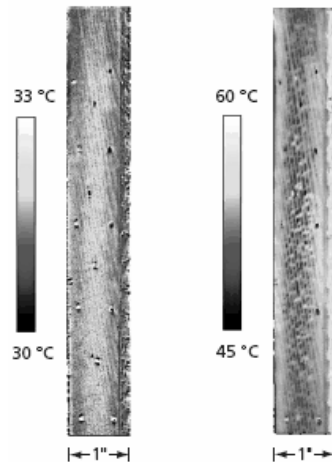


Figure 2. Termomapa ukazuje vzorek pneumatiky během cyklického testu zatížení v tahu. Teplota se zvyšuje se zvyšujícím se zatížením.

7

Měření teploty založené na změně polarizovaného světla

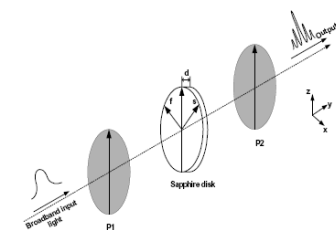


Figure 2.6. Conceptual schematic design of the sensing head: broadband polarimetric differential interferometry (BPDI)

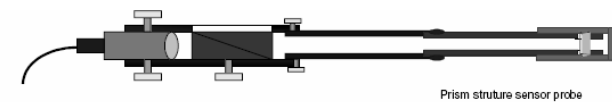


Figure 3.6 Sensing probe with a Sapphire Prism (SP) structure

8

Změny přenosu světla využívané k optickým měřením:

- Lineární:
 - Absorpce
 - Rozptyl
 - Reflexe
 - Mikroohybové ztráty
- Nelineární:
 - Nelineární rozptyl, Brillouinuv, Ramanův,
 - Sagnakův jev
 - Faradayův jev,
 - Kerrův jev

Co měříme: Intenzitu, reflexi, spektrum, fázi, polarizaci

9

Rozdělení optických sensorů

- **Bodové senzory:** Měření je prováděno v jednom bodě v prostoru ale je možné mnoha-vláknové měření v určitých bodech. Např. Fabry-Perot senzor nebo jednoduchá vláknová Braggova mřížka FBG.
- **Integrované senzory:** Měření průměruje fyzikální parametr přes jistou délku část prostoru a výsledkem je jediná hodnota. Příkladem je senzor deformace měřící napětí přes dlouhou vzdálenost.

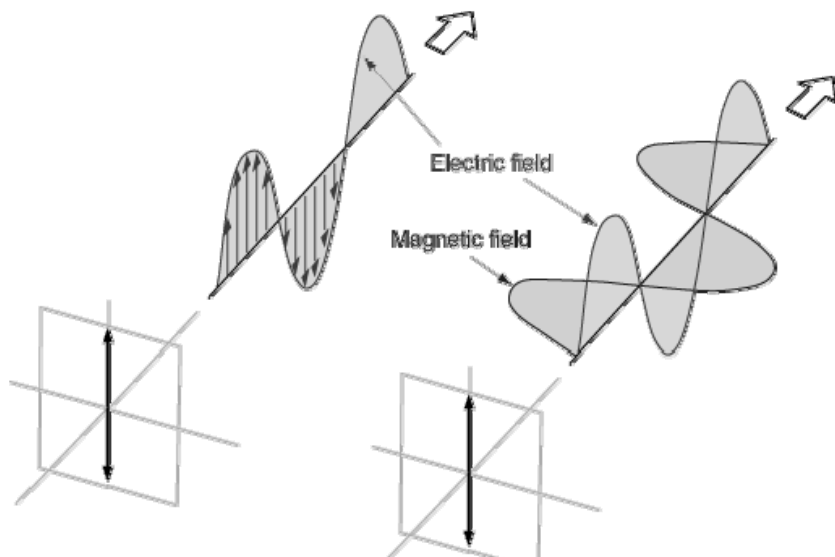
Quasi-distribuovaný nebo multiplexní senzor: měřená veličina je určována v řadě fixních bodů podél jedno-vláknového optického kabelu. Příklad multiplexní FBG's.

Distribuovaný senzor: sledovaný parametr je měřen s jistým prostorovým rozlišením v kterémkoliv bodě podél jednoho optického kabelu. Příkladem jsou systémy založené na Rayleigh, Raman a Brillouinově rozptylu.

10

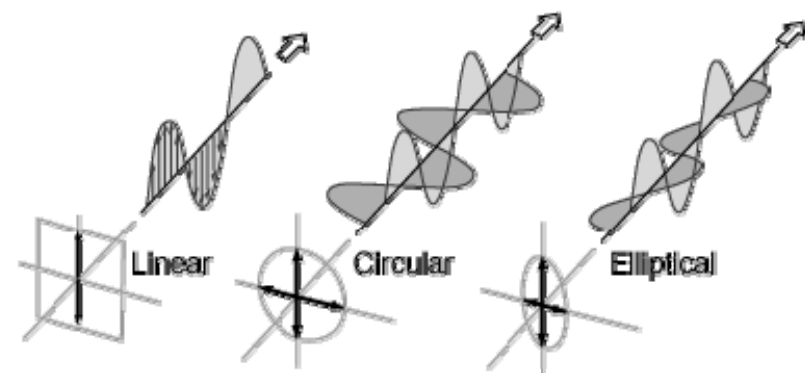
Lineární polarizace světla.

V kterémkoliv bodě světelného paprsku je rovina magnetické vlny kolmá na vlnu elektrickou.



11

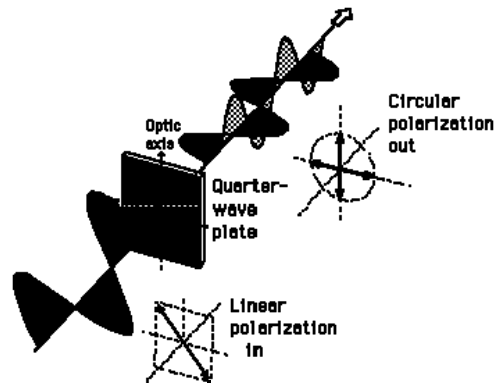
Polarizované světlo



12

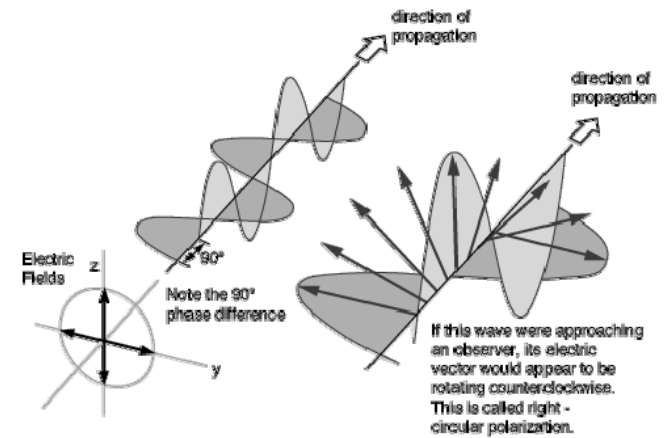
Jak vzniká kruhově polarizované světlo:

Jestliže lineárně polarizované světlo projde čtvrtvlnovou destičkou v úhlu 45° k ose, potom je světlo rozděleno do dvou stejných komponent elektrického pole, přičemž jedna část je zpožděna o $1/4$ vlnové délky.



13

Kruhově polarizované světlo se skládá ze dvou kolmých elektromagnetických rovin o stejné amplitudě, které jsou fázově posunuty o 90° .



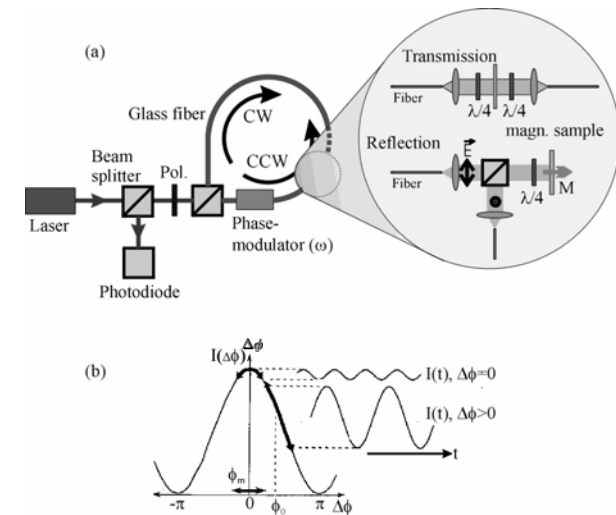
14

Animace polarizace světla

<http://www.enzim.hu/~szia/cddemo/edemo1.htm>

<http://www.enzim.hu/~szia/cddemo/edemo9.htm>

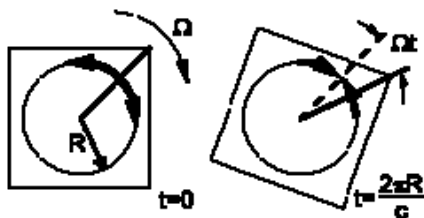
15



Schema Sagnakova interferometru a jeho úpravy pro magnetooptické měření v transmisi (Faradajův jev) nebo reflexy (Kerrův jev). (b). Měření intenzity a fázového posunu.

16

Sagnakův jev



$$\Delta L = 2R\Omega t = \frac{4\pi R^2 N \Omega}{c}$$

$$\Delta\phi = \frac{8\pi^2 R^2 N}{\lambda c} \Omega$$

odpovídající fázový posun mezi dvěma paprsky

Cívka vláknů s N závitů o poloměru R rotuje ve směru hodinových ručiček s úhlovou rychlostí Ω a že světlo vstupuje v čase $t=0$. Paprsky jdoucí ve směru a v protisměru hodinových ručiček se setkávají opět na začátku v čase $t = 2\pi R N / c$, nicméně díky rotaci smyčky proběhly rozdílnou dráhu (z pohledu pozorovatele) o ΔL .

Přesné relativistické výpočty ukazují, že fázový posun je nezávislý na materiálu vlnovodu.

17

Kerrův elektrooptický jev (DC Kerr effect) Pod vlivem vnějšího elektrického pole se materiál stává dvoulomý s rozdílnými indexy lomu pro světlo polarizované kolmo a rovnoběžně k aplikovanému poli. Rozdíl v indexech lomu:

$$\Delta n = \lambda K E^2,$$

λ je vlnová délka světla, K je *Kerrová konstanta* a E je amplituda elektrického pole. Tento rozdíl v indexu lomu způsobuje, že materiál se chová jako dvoulomá destička kde světlo vstupuje rovnoběžně s elektrickým polem. Jestliže materiál je umístěn mezi skříženými polarizery, nepropouští světlo pokud není zapnuto elektrické pole a téměř všechno světlo je propouštěno při optimálních hodnotách elektrického pole. Vysoké hodnoty K dovolují téměř úplnou propustnost při aplikaci nízkých hodnot elektrického pole. Vysoké K mají polární kapaliny např. nitrotoluen a nitrobenzen.

18

Optický Kerrův jev (AC Kerr effect). Změny indexu lomu jsou úměrné ozáření.

Jedná se o nelineární jevy v optice samofokuse a samofázová modulace. **Tyto jevy se stávají významnými v případě velmi intenzivních paprsků jako jsou lasery.**

19

DC Kerr effect – matematické odvození

Pro nelineární materiál elektrická polarizace \mathbf{P} bude záviset na elektrickém poli \mathbf{E} :

$$\mathbf{P} = \epsilon_0 \chi^{(1)} \mathbf{E} + \epsilon_0 \chi^{(2)} \mathbf{E} \mathbf{E} + \epsilon_0 \chi^{(3)} \mathbf{E} \mathbf{E} \mathbf{E} + \dots$$

kde ϵ_0 je permitivita vakua a $\chi^{(n)}$ je n -tý řád složky elektrické susceptibility media. Pro lineární medium je významný pouze první člen rovnice a polarizace se mění lineárně s elektrickým polem.

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 + \mathbf{E}_\omega \cos(\omega t),$$

Pro materiály vykazující zanedbatelný Kerrův jev je třetí člen $\chi^{(3)}$ významný. Uvažujme čisté elektrické pole \mathbf{E} produkované světelnou vlnou o frekvenci ω společně s externím elektrickým polem \mathbf{E}_0 :

$$\chi^{(3)} |\mathbf{E}_0|^2 \mathbf{E}_\omega$$

kde \mathbf{E}_ω je vektor amplitudy vlny.

Spojením těchto dvou rovnic získáme výraz pro \mathbf{P} . Pro DC Kerr effect, můžeme zanedbat všechny členy kromě lineárních, takže:

$$\mathbf{P} \simeq \epsilon_0 (\chi^{(1)} + 3\chi^{(3)} |\mathbf{E}_0|^2) \mathbf{E}_\omega \cos(\omega t),$$

20

Tento vztah je podobný lineárnímu vztahu mezi polarizací a elektrickým polem vlny, s dodatečným členem nelineární susceptibilitě úměrným čtverci amplitudy externího pole. Pro nesymetrická media (např. kapaliny) tato indukovaná změna susceptibilitě produkuje změnu indexu lomu ve směru elektrického pole.

$$\Delta n = \lambda_0 K |\mathbf{E}_0|^2,$$

Hodnoty K závisí na mediu a pohybují se 9.4×10^{-14} m V⁻² pro vodu, a 4.4×10^{-12} m V⁻² pro nitrobenzene.

21

V optickém Kerrově jevu AC Kerr efekt, intenzivní paprsek světla v prostředí může sám vyvolat modulaci elektrického pole bez toho aby bylo aplikováno vnější elektrické pole. V tomto případě je elektrické pole:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_\omega \cos(\omega t),$$

kde \mathbf{E}_ω je amplituda vlny,
Spojení s rovnicí polarizace za použití pouze lineárních členů a $\chi^{(3)}|\mathbf{E}_\omega|^3$:

$$\mathbf{P} \simeq \epsilon_0 \left(\chi^{(1)} + \frac{3}{4} \chi^{(3)} |\mathbf{E}_\omega|^2 \right) \mathbf{E}_\omega \cos(\omega t).$$

Tato rovnice podobně jako v předcházejícím případě se podobá rovnici lineární susceptibilitě s dodatečným nelineárním členem.

$$\chi = \chi_{\text{LIN}} + \chi_{\text{NL}} = \chi^{(1)} + \frac{3\chi^{(3)}}{4} |\mathbf{E}_\omega|^2,$$

22

A tudíž :

$$n = (1 + \chi)^{1/2} = (1 + \chi_{\text{LIN}} + \chi_{\text{NL}})^{1/2} \simeq n_0 \left(1 + \frac{1}{2n_0^2} \chi_{\text{NL}} \right)$$

kde $n_0 = (1 + \chi_{\text{LIN}})^{1/2}$ je lineární index lomu.
Použitím Taylorova rozvoje kde $\chi_{\text{NL}} \ll n_0^2$ dostaneme index lomu závislý na intenzitě světla (IDRI) :

$$n = n_0 + \frac{3\chi^{(3)}}{8n_0} |\mathbf{E}_\omega|^2 = n_0 + n_2 I$$

n_2 je nelineární index lomu
 I intenzita vlny.

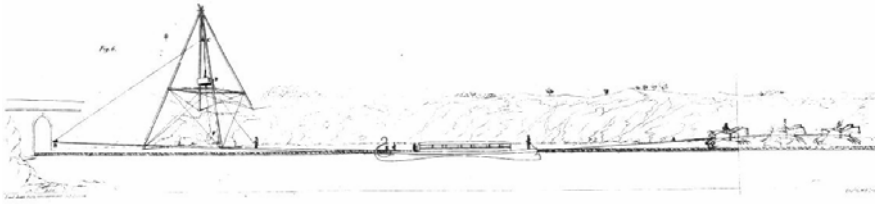
Změna indexu lomu media je úměrná intenzitě procházejícího světla.

23

- Hodnota n_2 je relativně malá pro většinu materiálů pro skla je $10\text{-}20 \text{ m}^2 \text{ W}^{-1}$. Intenzita ozáření proto musí být alespoň 1 GW cm^{-2} (taková jaká je produkována lasery) abychom pozorovaly změny indexu lomu způsobené the AC Kerrovým jevem.
- Optický Kerrův jev se projevuje jako dočasná samofázová modulace a samoindukovaná fázová a frekvenční změna pulsu světla procházejícího mediem. Tento proces společně s disperzí může produkovat optický soliton.

24

Soliton je samozesilující jediná vlna zapříčiněná jemnou rovnováhou mezi nelineární jevem a disperzí v mediu.



Drazin and Johnson (1989) popisují soliton jako řešení nelineárních diferenciálních rovnic které

- 1) reprezentují vlny stálého tvaru ;
- 2) jsou lokalizovány takže jejich rozpad nebo přibližování se je v nekonečnu konstantní
- 3) Mohou silně interagovat s jinými solitony ale vycházejí z kolize nezměněny kromě fázového posunu.

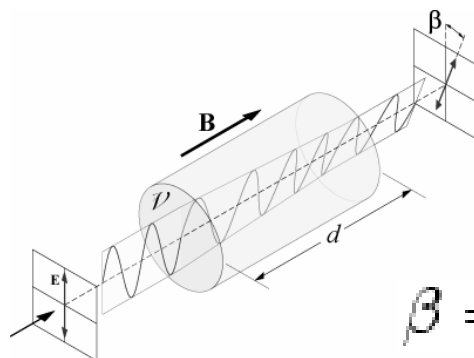
25

- Prostorově, intesivní paprsek světla v mediu bude produkovat změny indexu lomu, které napodobují příčné rozložení paprsku světla.
- Gausův paprsek bude produkovat Gausovo rozložení indexu lomu, podobně jako u vlákna nebo čočky s gradientovým profilem indexu lomu.
- Paprsek se sám fokusuje – samofokusace..

26

Faradajův jev

Rotace roviny polarizace je úměrná intenzitě komponent magnetického pole ve směru paprsku světla.



$$\beta = \nu B d$$

27

Vztah mezi úhlem rotace polarizace a magnetickým polem v diamagnetickém materialu:

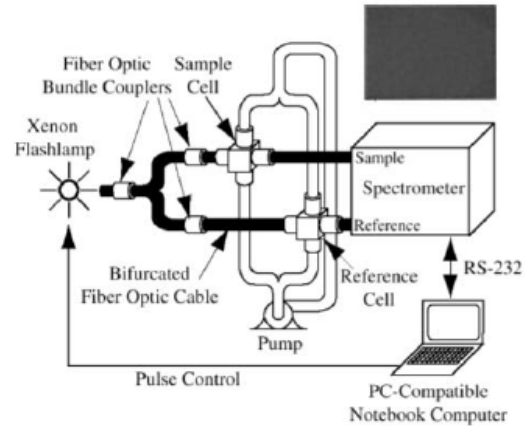
$$\beta = \nu B d$$

Faradajův jev je důsledkem faktu, že magnetické pole odjímá symetrii šíření pravo- a levo točivému kruhově polarizovanému světlu. Index lomu pro světlo dvou polarizací se stává odlišným v přítomnosti magnetického pole.

β je úhel rotace (v radianech)
 B je hustota magnetického toku ve směru šíření světla (v Teslach)
 d je délka interakce světla a magnetického pole (v metrech)
 ν je Verdetova konstanta materiálu (v rad/Tes/m).
 Empirická konstanta úměrnosti, která se mění s vlnovou délkou a teplotou. Je tabelována pro řadu materiálů.

28

Optická měření protékající kapaliny



29

Optická měření protékající kapaliny

McNab equipment measures

Absorption

Clarity

Color

Concentration (% solids, PPM)

Particle Counting

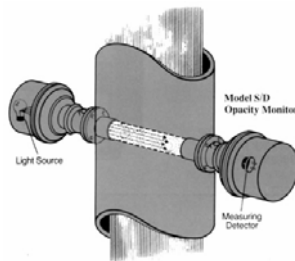
Turbidity

Configurations

http://www.themcnab.com/chemical_processing_petrochemical.htm

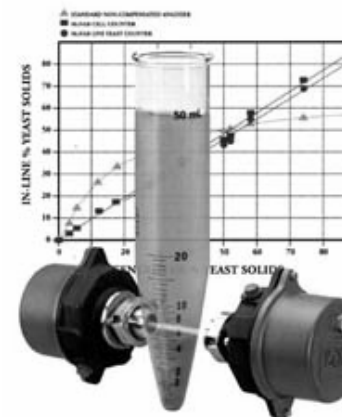
30

Optická měření protékající kapaliny



31

Optická měření protékající kapaliny



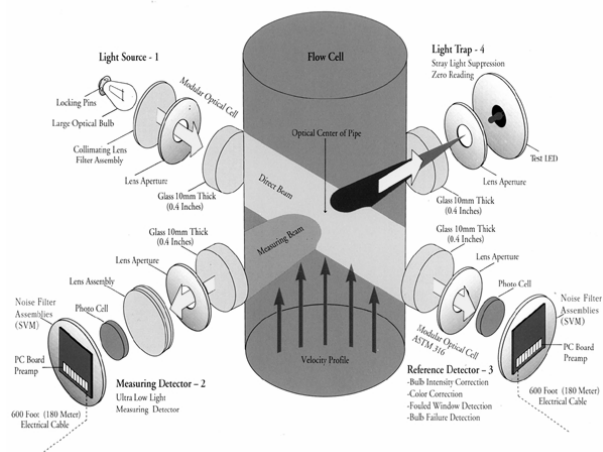
32

Optická měření protékající kapaliny



Anton
Steinecker

Optická měření protékající kapaliny



Optická měření protékající kapaliny



Optická měření protékající kapaliny

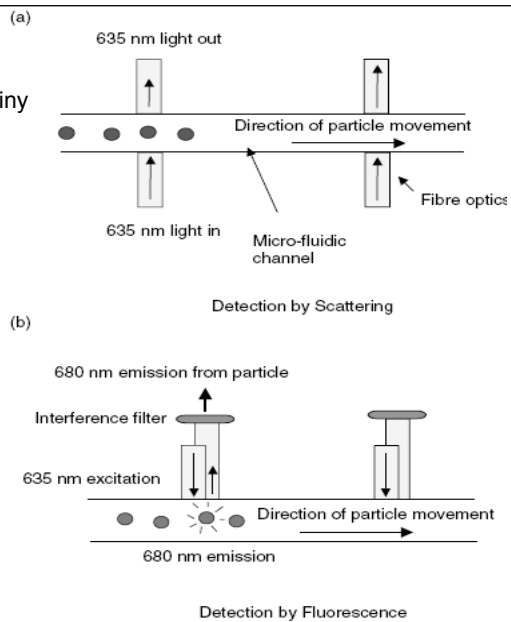


Figure 1. A schematic diagram outlining the principle of the particle detection system. Two designs have been implemented: (a) detection by light scattering and (b) fluorescence detection.

37

REFLEXNÍ SENZORY

Senzor změny indexu lomu.



38

REFLEXNÍ SENZORY Měření vzdálenosti



39

REFLEXNÍ SENZORY

Vláknově optický senzor změny polohy a vibrace



40



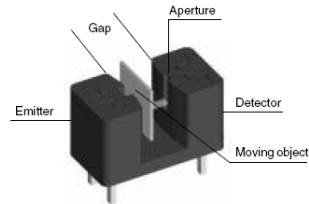
Application of Optical Sensors

Optical Transmissive and Reflective Sensors

- Optoelectronic transmitters and receivers are used in pairs and linked optically
- Known as transmissive sensors or interrupters or slotted switch or optical switch or reflective sensors
- Emitting light is influenced by an object on its way to the detector
- Change of the light signal causes a change in the electrical signal in the receiver

Transmissive Sensors:

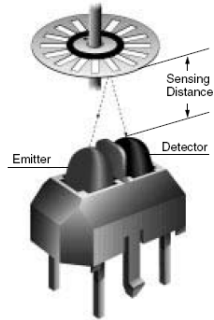
Transmitter is positioned opposite the receiver used for small distances and narrow objects



18558

Reflective Sensors:

Transmitter is positioned next to the receiver used for a wide range of distances objects of different shapes

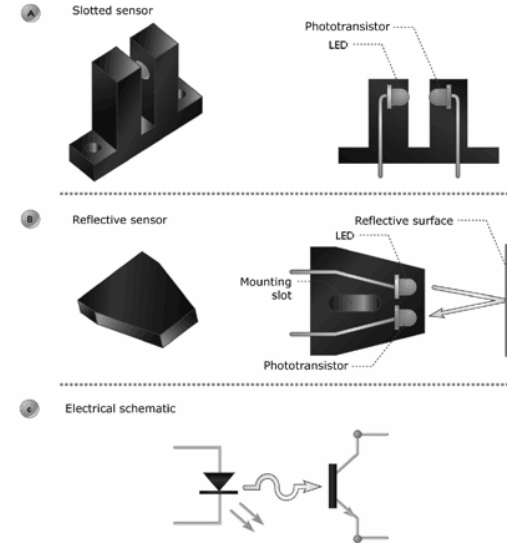


18559

Majors Criteria:

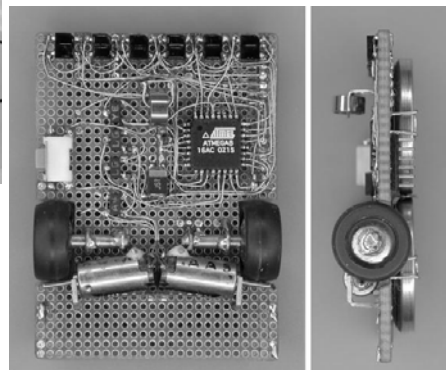
- Housing material

REFLEXNÍ SENZORY

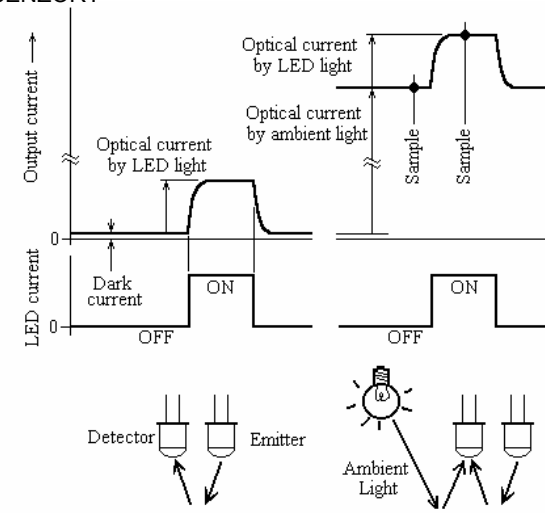


REFLEXNÍ SENZORY

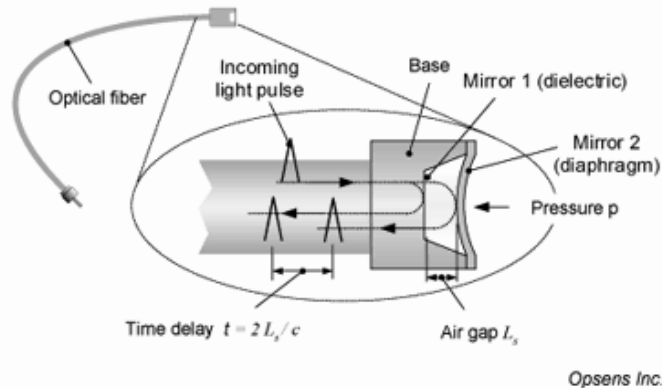
Robot sledující čáru



REFLEXNÍ SENZORY



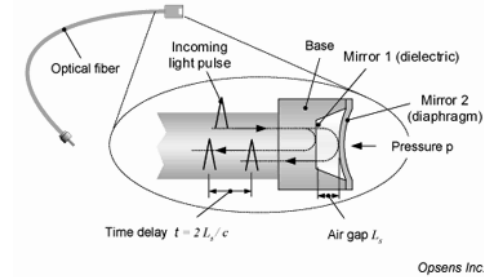
Pressure transducer based on the Fabry-Perot interferometer



Bodový senzor založený na Fabry-Perotově dutině. Přenašeč se skládá ze dvou paralelních zrcadel oddělených vzduchovou mezerou L_s . Polopropustné zrcadlo 1 je tvořeno dielektrickou vrstvou na konci optického vlákna. Zrcadlo 2 je membrána umístěná proti vláknu. Při vystavení membrány tlaku p je měřena změna L_s . Změnou tloušťky membrány se mění rozsah měřených tlaků.

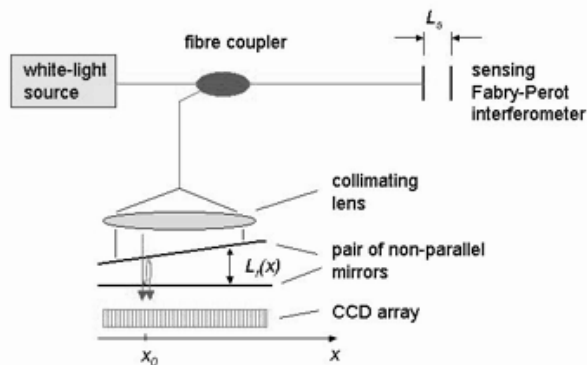
45

Pressure transducer based on the Fabry-Perot interferometer



- Bílé světlo generované v krátkých pulsech. Pulsy jsou generovány náhodně takže spolu neinterferují .
- Jestliže je FP dutina osvětlena bílým světlem přivedeným optickým vláknem je světlo částečně odraženo prvním zrcadlem. Zbytek světla je propuštěn a následně odražen druhým zrcadlem. Původní světelný puls je rozdělen do dvou pulsů z nichž druhý je zpožděn proti prvnímu o **$t = 2L_s / c$** (rychlost světla)

46



- Interference a tudíž signál obsahující informace o L_s , se vyskytují pouze jestliže dva pulsy generované stejným původním pulsem mohou být přeneseny zpět a překryty. To je dosaženo použitím druhého interferometru. Tento se skládá ze dvou propustných zrcadel které nejsou vzájemně rovnoběžné. Vzduchová dutina $L_r(x)$ závisí na pozici x podél zrcadla a maximální interferenční signál je generován v pozici
- x_0 kde $L_r(x_0)$ přesně odpovídá dutině L_s prvního interferometru. Pozice x_0 je určena CCD polem za zrcadly.

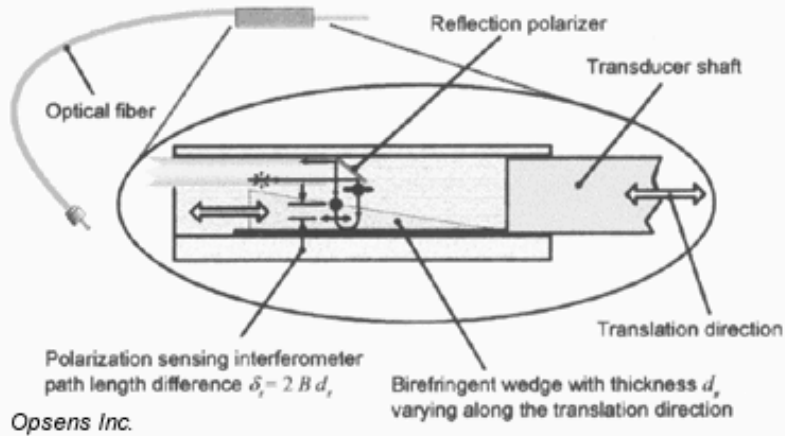
47

- Interference a tudíž signál obsahující informace o L_s , se vyskytují pouze jestliže dva pulsy generované stejným původním pulsem mohou být přeneseny zpět a překryty. To je dosaženo použitím druhého interferometru. Tento se skládá ze dvou propustných zrcadel které nejsou vzájemně rovnoběžné. Vzduchová dutina $L_r(x)$ závisí na pozici x podél zrcadla a maximální interferenční signál je generován v pozici
- x_0 kde $L_r(x_0)$ přesně odpovídá dutině L_s prvního interferometru of the sensing interferometer. Pozice x_0 je určena CCD polem za zrcadly.

48

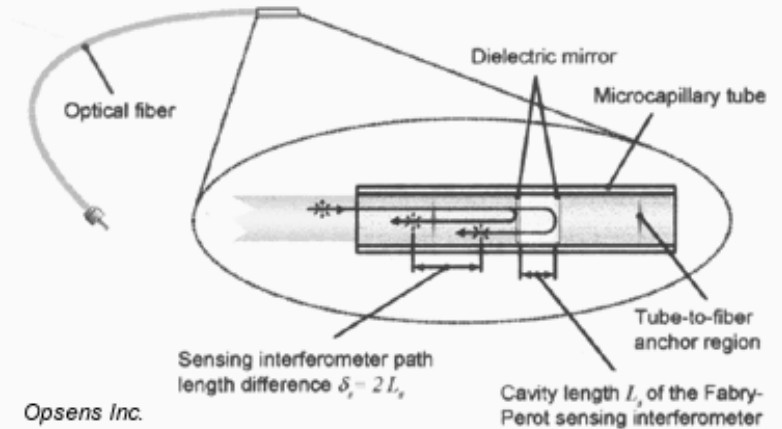
Na tomto principu můžeme měřit teplotu, pozici, napětí, sílu a index lomu.

Linear position transducer based on the polarization interferometer



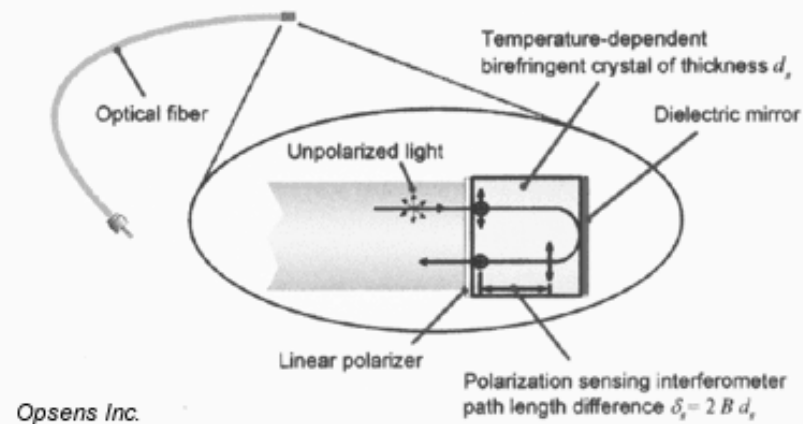
49

Strain & force transducer based on Fabry-Perot interferometer



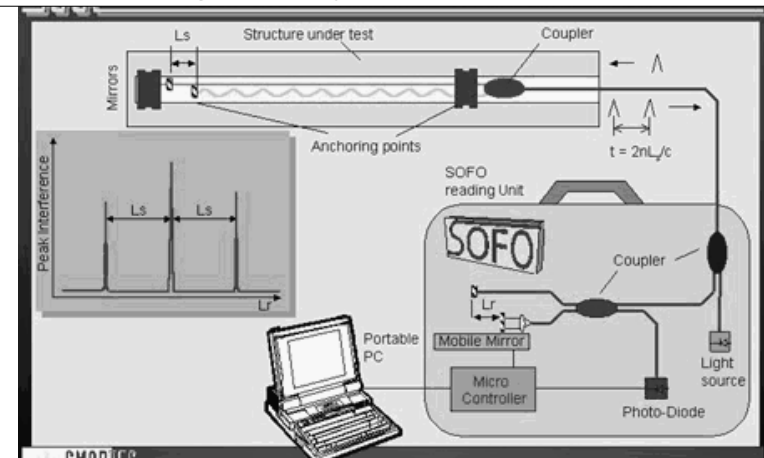
50

Temperature transducer based on the polarization interferometer



51

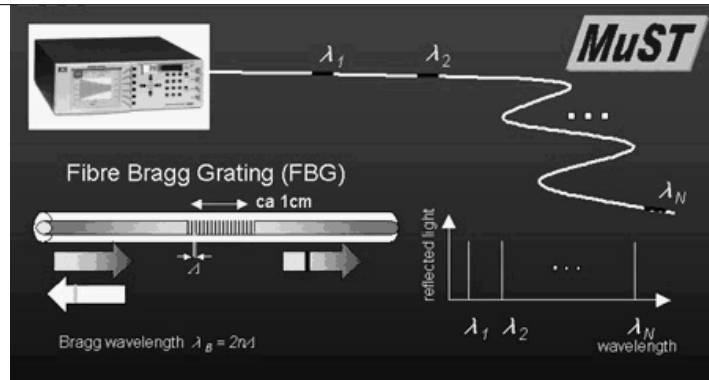
Integrovaný sensor deformace



Bílé světlo je rozděleno do dvou vláken o rozdílné délce, které mají na konci zrcátka – Mach Zenderův interferometr. Jedno vlákno je pevně spojené se strukturou, kdežto druhé je v těsné blízkosti ale není připojeno. Světelný puls rozdělený do dvou pulsů se vrací zpět jako dva pulsy vzájemně zpožděné o $t = 2nL_s / c$,

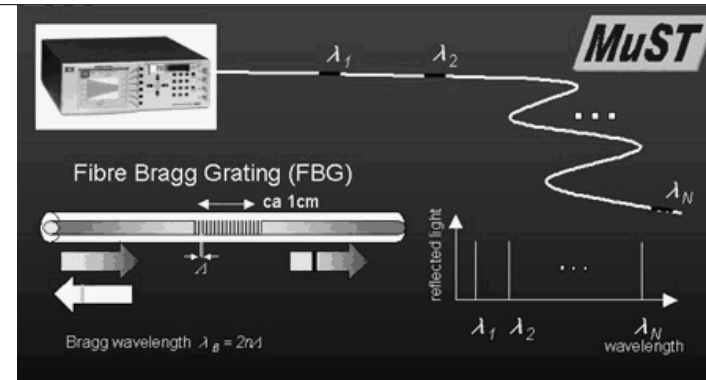
52

Multiplexní sensor s Braggovou mřížkou ve vlákně



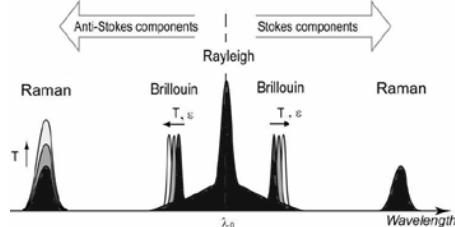
Na vlákně jsou krátké úseky vlákna které způsobují periodickou modulaci výšky L indexu lomu. Každá část jemné frakce světla je odrážena zpět což vede k silné reflexy jistých vlnových délek nazývaných Braggovy vlnové délky. $\lambda_B = 2nL$. Pouze při této vlnové délce všechny frakce světla rostou a zesilují reflexní signál. Když je takové vlákno podrobena napětí nebo vystaveno teplu mřížková vzdálenost L a index lomu jsou ovlivněny a Braggova vlnová délka se posouvá podle toho. Pokud je vlákno vystaveno jak změně teploty tak napětí je třeba kompenzovat jednu z nich.

Multiplexní sensor s Braggovou mřížkou ve vlákně



- Podél vlákna jsou rozmístěny FBG s různými Braggovými vlnovými délkami. Takže máme N měřících bodů podél jediného kabelu. Laditelný laser je použit k osvětlení řady sensorů. Během každého scanu vlnová délka souhlasí s jednou Braggovou vlnovou délkou L_i a silný zpětný odraz je zaznamenán, který nese informaci o teplotě a napětí v pozici i .

Distribuované sensory



Rayleigh rozptyl vzniká odrazem na nehomogenitách indexu lomu ve vlákně.

Ramanův rozptyl je důsledkem interakcí s molekulárními vibračními a rotačními stavy skla

Brillouinův rozptyl je důsledkem interakcí s nehomogenitami způsobenými zvukovými vlnami ve vlákně. (acoustické phonony).

Distribuované sensory

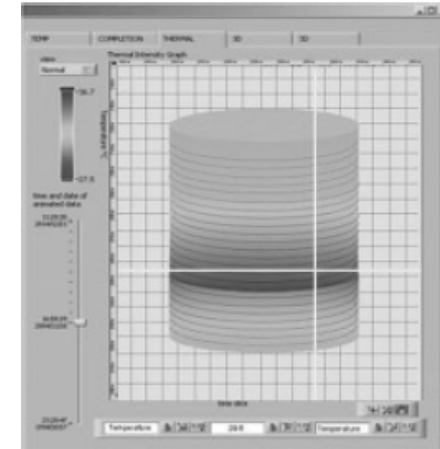
Základem měření s distribuovanými sensory jsou různé procesy rozptylu ve vlákně. Jak se světlo šíří vlákem **malé množství světla je souvisle odraženo zpět v každém bodě vlákna**. Vlastnosti odraženého světla závisí na napětí a teplotě ve vlákně.

- Intenzita Ramanovy**, Antistokesovy, složky roste s rostoucí teplotou, kdežto Stokesova složka je na teplotě nezávislá. Takže pokud bereme jejich poměr můžeme vyloučit jiné možné příčiny změny jejich intenzity jako mikroohybové ztráty. Teplota může být určena jednoznačně.
- V případě **Brillouinova** rozptylu je to **vlnová délka posunu** rozptýleného světla s ohledem na Rayleighovu vlnovou délku, která je výsledkem obou vlivů teploty a tlaku. Tudiž odečtením vlnové délky posunu a rozptýleného světla získáme senzor napětí a teploty.
- Dodatečná separace napětí a teploty se provádí instalací dalšího kabelu, který není pevně spojen s konstrukcí.
- Nejobvyklejší cesta vyčlenění prostorové distribuce je použití pulsního světla a záznam odraženého světla v čase. (**Optical Time Domain Reflectometry OTDR**).



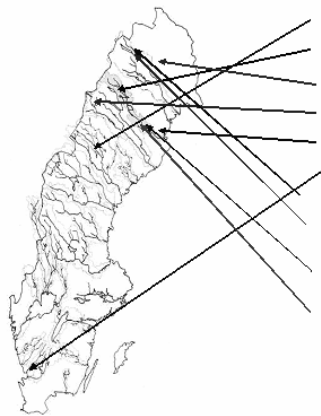
Je možné měřit na vzdálenost přes 30 km s rozlišením teploty 0.01 deg C a napětím od 10 $\mu\epsilon$ (micro strain) - a prostorovým rozlišením 1 metr. Životnost systému 30 let.

Monitorování procesů v reaktoru

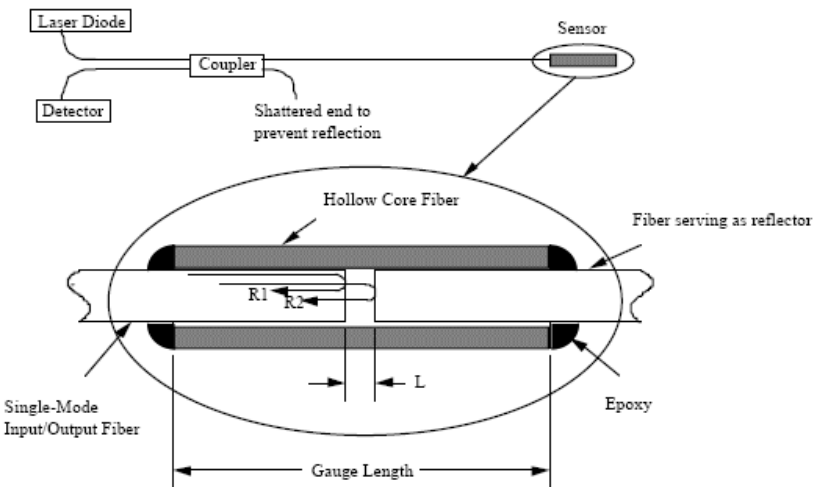


Měření teploty vláknem, které je obtočeno kolem pláště reaktoru.

Přehrady ve Švédsku, které jsou vybaveny optickými vlákny .

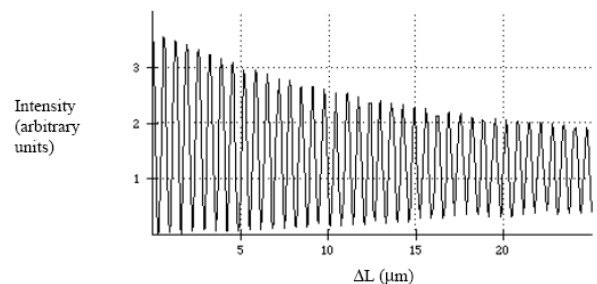


- | | |
|---|-------------------------|
| 1. Lövön (1998) | Seepage |
| 2. Sádva (1999) | Movements (Temperature) |
| 3. Aitik (2000) | Both |
| 4. Ajaure (2001) | Movements |
| 5. Vargfors (2001) | Seepage |
| 6. Hylte dam and dyke (2002) | Seepage |
| 7. Suorva West (2003) | Seepage |
| 8. Suorva East and Sägviksdammen (2004) | Movements (Temperature) |
| 9. Bastusel, 3 dams (2004) | Seepage |
| 10. Gallejaure 4 dams (2004) | Seepage |



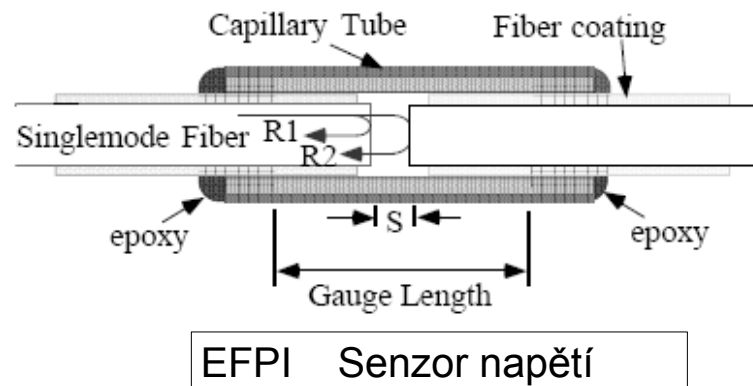
Extrinsický Fabry-Perottův interferometr s laserovou diodou.

$$I_r = |A_1 + A_2|^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \Delta\phi$$

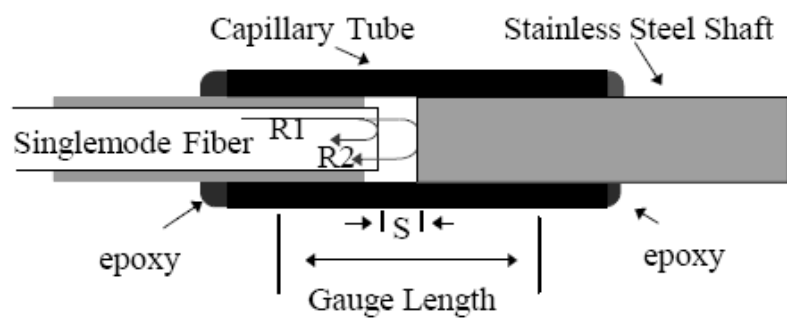


Výstup intenzity z extrinického Fabry-Perotova interferometru.
Pro vlnovou délku vstupního světla 1.3 μm je ΔL 0.65 μm.

61



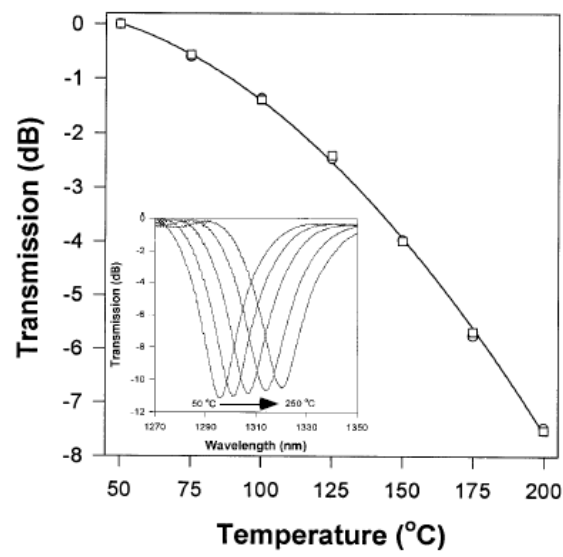
62



EFPI teplotní senzor.

63

Závislost přenosových ztrát EFPI na teplotě pro vlnovou délku světla 1300 nm.



64

Optical Fiber Bragg Grating Sensors

Yan Zhang, Hongping Ouy, Robert Pastore

Fiber Bragg Grating

A simple device consists of a periodic modulation of the index of refraction along the fiber. It couples light in and out of fiber and performs many functions such as reflection, diffraction, filtering (space polarization etc.) in a highly efficient and precise way. Fiber Bragg Gratings are set to revolutionize telecommunications and so have a great influence on the optical fiber sensor field.

Fiber Bragg Grating Sensors

Fiber Optic Sensor Advantages

- Lightweight, nonobtrusive
- Passive, low power consumption
- EMI resistant
- High sensitivity and bandwidth
- Environmental ruggedness
- Complementary to telecommunication and optoelectronics

Fiber Optic Sensor Capabilities

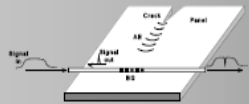
- Rotation, acceleration
- Electric and magnetic field
- Temperature and pressure
- Acoustic and vibration
- Corrosion and chemical



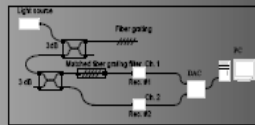
Structural Monitoring System Using Optical Fiber Sensors

Acoustic Emission Detection Using Optical Fiber Bragg Gratings

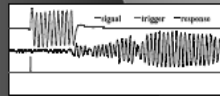
When cracks initiate and develop in a structure due to fatigue and loading, there are stress concentration bands of acoustic energy in the form of ultrasonic waves emanating from the cracks and propagating through the structure. Thus, detection of these waves give early indication and warning of structure failure.



Acoustic Emission event detected with a single fiber-optic Bragg grating



Block Diagram of the experimental setup



Experiment result
AE Detection at 500 kHz
Time (100 microseconds/full scale)

Objects

- Develop a sophisticated computer based real-time data acquisition, processing and analysis system, enhance the detection sensitivity and speed.
- Multiple-sensor applications combine large sensor arrays using multiple waveguides (DWDM, PON, TDMA) developed in the telecommunication industry.

April, 2002