

VLÁKNOVĚ OPTICKÝ SENZOR PRO VYSOKÉ TEPLoty

František HANÁČEK¹, Jan LÁTAL¹, Petr KOUDELKA¹, Jan SKAPA¹, Petr ŠIŠKA¹,
Vladimír VAŠINEK¹, Jan HURTA²

¹Katedra telekomunikační techniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, VŠB-TU Ostrava, 17. Listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, Česká republika

²Laboratoř stavebních hmot, Fakulta stavební, VŠB-TU Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava, Česká republika

frantisek.hanacek@vsb.cz, jan.latal@vsb.cz, petr.koudelka@vsb.cz

Abstrakt. Vláknové optické senzory nacházejí uplatnění v různých odvětvích průmyslu. Výhody optických senzorů jsou založeny na výhodách optických vláken a částečně též na jejich technologickém vývoji. Vláknové optické senzory teploty, jsou založeny na více způsobech snímání, u všech dosahuje horní mez snímání kolem přibližně 600 °C. Cílem článku je představit princip senzoru založeného na záření černého tělesa. Tento typ senzoru je obtížné přesněji specifikovat, nedá se jednoduše zařadit do skupiny intenzitních senzorů ani radiačních senzorů. Při nižších teplotách by se dal zařadit do intenzitních senzorů, ale při zvyšující se teplotě dochází i uvnitř k jeho vlastní emisi fotonů.

Klíčová slova

Teplota, vláknové optický senzor, černé těleso, optické vlákno, MM optické vlákno.

1. Úvod

Vláknové optické senzory jsou v poslední době nejvíce se rozvíjejícím se odvětvím a to, jak v průmyslové části, tak i v části biologického snímání veličin. Od doby prvních senzorů se zachovaly základní výhody použití vláknové optické senzory, ale s technickým rozvojem a pokrokem při výrobě, lze vláknové optické senzory použít i v částech, v kterých to doposud nebylo myslitelné. Vláknové optický senzor teploty není žádným překvapením, pro rozsahy od -50 °C do 400 °C. Pro různé teplotní rozsahy můžeme použít různé druhy vláknové optické senzory, např. interferometrické metody měření, použití VOS s braggovskou mřížkou, různé aplikace intenzitních VOS, polarizaci zachovávajících, a

jiných. Pro vysoké teploty se však tyto metody nehodí z důvodu možného deformování použitého senzoru. Jedna z možností, jak vytvořit VOS pro měření vysoké teploty spočívá ve využití záření černého tělesa [1]. Při vysokých teplotách materiál VOS křehne, a proto použití pro přímé snímání teploty dané veličiny není vhodné. Při měření teploty pomocí principu snímání radiačního záření přímou metodou, nejedná se zde o intenzitní senzor, u kterého se mění útlumová charakteristika v závislosti na teplotě. Princip měření je založen na fyzikálním principu záření černého tělesa. Vytvořený VOS vložíme do předem konfigurovaného, připraveného teplotně odolného krytu. Tento kryt musí splňovat několik základních fyzikálních vlastností. Primární vlastnost musí být vynikající teplotní vodič a to z důvodu, aby zde nevznikaly prodlevy mezi změnou teploty okolí a vnitřní teplotou krytu, musí být dostatečně teplotně odolný, teplota tání daného materiálu, by měla být řádově vyšší než teplota, pro kterou se bude používat, s tím souvisí vlastnost minimální teplotní roztažnosti, v ideálním případě skoro nulová. Tyto podmínky jsou nyní technologicky splnitelné bez velké námahy a finančně nenáročně [2].

2. Fyzikální princip

Princip měření spočívá ve využití Stefan – Boltzmannova zákona, popisujícího intenzitu záření absolutně černého tělesa, tento zákon říká, že intenzita vyzařování roste se čtvrtou mocninou termodynamické teploty zářícího tělesa.

$$j^* = \varepsilon\sigma T^4, \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^4} = 5,670400 \cdot 10^{-8} \left[\text{Js}^{-1} \text{m}^{-2} \text{K}^{-4} \right], \quad (2)$$

kde záření j^* má rozměr energie toku za čas na ploše, v SI jednotkách Jouly za sekundu na m^2 [$J \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$] nebo ekvivalentně [$W \cdot m^{-2}$] T je termodynamická teplota, rozměr je [K] ε je emisivita šedého tělesa, u perfektního černého tělesa je $\varepsilon=1$. Emisivita je závislá na vlnové délce $\varepsilon=\varepsilon(\lambda)$. Více odrazivé materiály mají nižší emisivitu, pro srovnání emisivita vysoce vyčištěného stříbra je kolem 0,02. σ je Stefan–Boltzmannova konstanta vztah (2). Vztah (1) nám říká, že velikost záření černého tělesa je závislé na ε emisivitě, poté na Stefan – Boltzmannově konstantě a čtvrté mocnině teploty T . Toto nám, ale k popisu funkce nestačí.

Princip VOS, je zde založen na principu vlnovodu, do kterého se naváže emitovaný výkon, zde je důležitá NA optického vlákna, sloužícího jako senzor, aby bylo co největší množství emitovaného světla navázáno do senzoru a následně vyhodnoceno. Vyzářený výkon si vyjádříme dle vztahu (3), což je záření rozprostřené na ploše:

$$P = A j^* = A \varepsilon \sigma T^4. \quad (3)$$

Intenzitu záření černého tělesa nám popisuje Planckův vyzařovací zákon vztah (4), tento nám popisuje výměnu energie s okolím nespojitě po kvantech. h je Planckova konstanta $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ J·s, c rychlost světla, λ vlnová délka, k Boltzmannova konstanta:

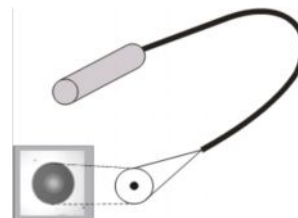
$$I(\lambda) d\lambda = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} d\lambda. \quad (4)$$

Obecný vztah (4) popisuje vyzařování absolutně černého tělesa v celém rozsahu vlnových délek. Pro reálná tělesa popsaná emisivitou ε , bude intenzita zmenšená ve stejném poměru. Při měření teploty je nutné vzít v úvahu, že optické vlákno má hranici propustnosti na 2,2 μm , použitý fotodetektor limituje spektrální rozsah měření na 1,8 μm . Před vlastním měřením je nezbytné celý systém kalibrovat. Tuto kalibraci je nutné provést při každé změně konfigurace (změna vlákna, detektoru, geometrie vlákna, použití pomocné optiky [3], [4]).

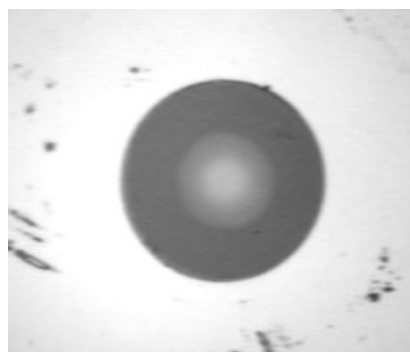
3. Teplotní senzor

Pro sestavení vysokoteplotního vláknově optického senzoru jsme použili MM optické vlákno 62,5/125 μm které bylo upraveno a navedeno do krytu, který splňuje námi předem definované podmínky, rozebrané v předešlé části. Na Obr. 1 je znázorněn VOS senzor pro vysoké teploty, je zde vidět kryt, v kterém je upravená část, snímající záření černého tělesa, poté jej posílá na vyhodnocení do širokospektrálního měřiče výkonu. Na Obr. 2 je zachycen výstup teplotního VOS na mikroskopu. Obrázek 3 zachycuje vysokoteplotní pec při teplotě 700 $^{\circ}C$, uprostřed obrázku šipka naznačuje

umístění vysokoteplotního vláknově optického senzoru na keramickém podstavci. Teplota je zde převedena na výkon záření, které se pomocí senzoru zachycuje a pomocí optického vlákna vyvádí k vyhodnocení. Obrázek 4 zobrazuje vysokoteplotní pec při teplotě 950 $^{\circ}C$, zde je už docela jasně viditelné teplotní záření, uprostřed je na keramické podložce vláknově optický senzor. Na Obr. 5 je schematicky znázorněn VOS a působení teploty.



Obr. 1: Sestavení vláknově optického senzoru pro vysoké teploty, ve výřezu je obrázek MM vlákna z mikroskopu.



Obr. 2: MM 62,5/125 μm , z mikroskopu.



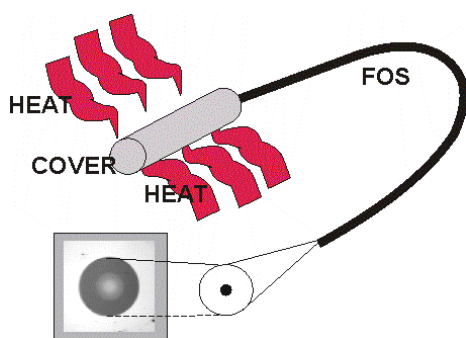
Obr. 3: Vysokoteplotní pec při teplotě 700 $^{\circ}C$.



Obr. 4: Vysokoteplotní pec při teplotě 950 °C.

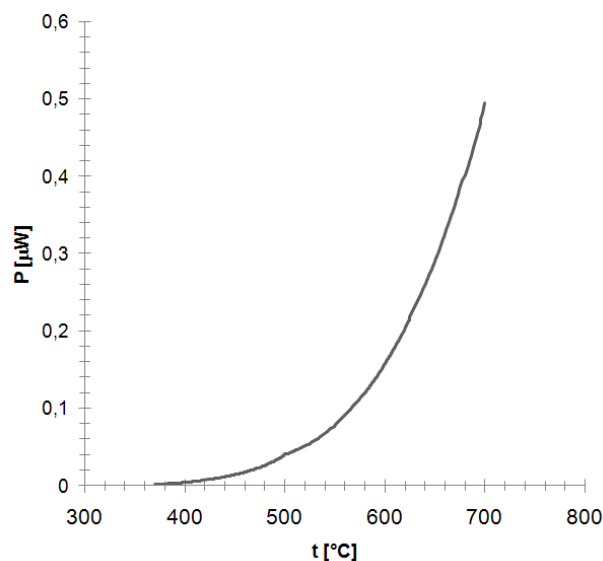
4. Experiment

Nejdůležitější částí měření bylo kvalitní sestavení měřicího vláknově optického senzoru. Část, do níž se navádělo emitované světlo ze záření černého tělesa, bylo obyčejné MM optické vlákno 62,5/125 μm . Určitou aretací zde byla použita ferule zajišťující uložení senzoru. Senzor byl do vysokoteplotní pece vložen vertikálně a vlákno bylo vyvedeno přes průduch v horní části pece, což nám zajistilo minimální vnik parazitního světla do senzoru.

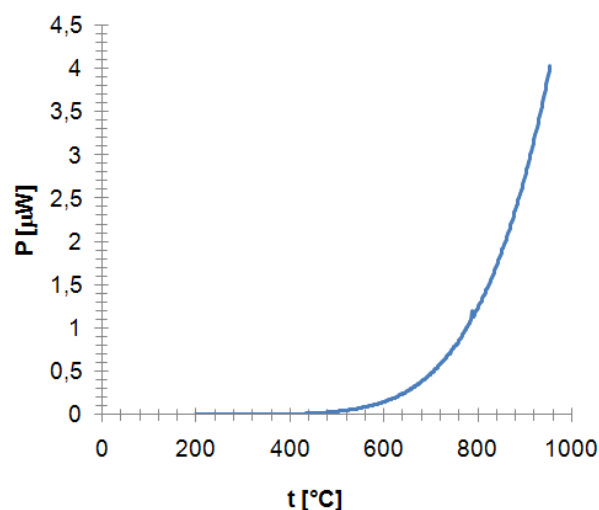


Obr. 5: Schematické znázornění působení teploty uvnitř pece na vláknově optický senzor teploty.

Veškeré výkonové změny na senzoru byly způsobeny, jenom zářením černého tělesa. Na Obr. 6 je graf prvního měření, senzor zde začal snímat emitovaný výkon u 370 °C, bylo zde nasnímáno asi 300 hodnot do 700 °C. Obrázek 7 znázorňuje graf druhého senzoru v rozsahu 25 °C – 950 °C oproti prvnímu měření, je senzor kvalitněji zpracován. Hodnota 950 °C však není konečná pro tento způsob měření, jako konečná hodnota se teoreticky jeví hodnota blízká k hodnotě teploty tání optického vlákna.



Obr. 6: Graf zornující závislost navázaného výkonu na teplotě černého tělesa, rozsah měření od 25 °C do 700 °C.



Obr. 7: Graf zornující závislost navázaného výkonu na teplotě černého tělesa, rozsah měření od 25 °C do 950 °C.

5. Závěr

Z naměřených hodnot uvnitř grafů lze vidět, že tuto metodu lze použít pro měření vysokých teplot. Užití v různých prostředích, však závisí na vhodné konstrukci těla senzoru a na jeho materiálových vlastnostech. Z grafu lze poměrně přesně od teploty 800 °C předpovídat světelný výkon, který dostaneme na výstupu vlákna. Jako další krok v nastavení tohoto senzoru a zkvalitnění výstupních hodnot, je zaměřen se na přesnou vlnovou délku, u které předpokládáme potřebné změny výkonu. Horní mez použití tohoto senzoru zatím není určena, ale předpokládá se použití kolem 1500 °C a vyšší.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za aktivní podpory GA 102/09/0550, SP/2010185.

Použitá literatura

- [1] GHATAK, A.; THYAGARAJAN, K. *Introduction to Fiber Optics*. Cambridge university press. ISBN 0-521-57120-0.
- [2] LOPEZ-HIGUERA, J.M. *Handbook of Fibre Optics sensing technology*. JOHN WILEY and SONS, 2002. ISBN 0-471-82053-9.
- [3] SALEH, B. E. A.; TEICH, M. C. *Základy fotoniky*. MATFYZ-PRESS. ISBN 80-85863-05-7.
- [4] KREITH, F. *The CRC handbook of thermal Engineering*. CRC Press/Springer. ISBN 3-540-66349-5.

O autorech

František HANÁČEK, narozen v roce 1981 v Uherském Hradišti. V roce 2006 získal titul Ing. Na VŠB-TU

Ostrava, Fakultě elektroniky a informatiky, Katedře Telekomunikací. V současné době se v rámci doktorského studia věnuje vláknově optickým senzorům, optovláknovým senzorickým systémům.

Jan LÁTAL, narozen v roce 1983 v Prostějově. V roce 2006 získal titul Bc. na VŠB-TU Ostrava, Fakultě elektroniky a informatiky, Katedře Telekomunikací. O dva roky později získal na tomtéž pracovišti titul Ing. v zaměření optoelektronika. V současné době v rámci doktorského studia se věnuje optickým bezdrátovým spojům a optovláknovým distribuovaným systémům.

Petr KOUDELKA, narozen v roce 1984 v Prostějově. V roce 2006 získal titul Bc. na VŠB-TU Ostrava, Fakultě elektroniky a informatiky, Katedře Telekomunikací. O dva roky později získal na tomtéž pracovišti titul Ing. v zaměření optoelektronika. V současné době v rámci doktorského studia se věnuje optickým bezdrátovým spojům a optovláknovým distribuovaným systémům.