

Claus Renschen, Dresden

Fi(e)ber-Thermometer

Prinzipien und Anwendungen
der faseroptischen Temperaturmessung



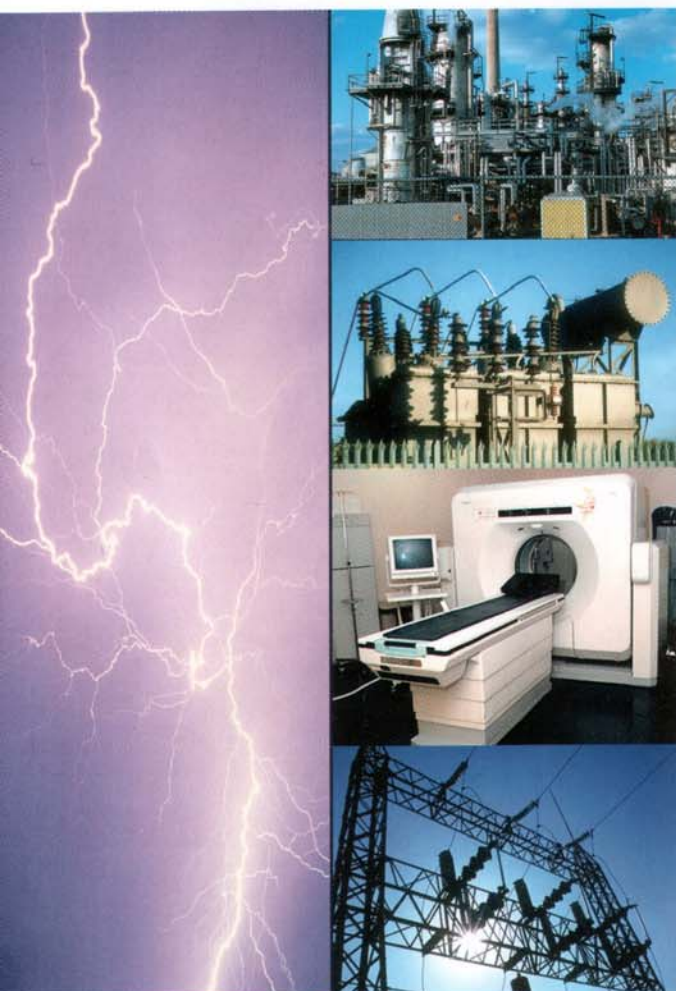
Sonderdruck

Fi(e)ber-Thermometer

Prinzipien und Anwendungen der faseroptischen Temperaturmessung

■ Claus Renschen, Dresden

Die Temperatur ist eine der am häufigsten gemessenen Größen in Wissenschaft und Technik. Faseroptische Sensoren gewinnen hier an Bedeutung, weil sie unempfindlich gegen elektromagnetische Felder sind und weil ihre sehr kleine Wärmeableitung und Wärmekapazität die Messergebnisse kaum verfälscht. Sie sind auch problemlos in chemisch aggressiver Umgebung oder in explosionsgefährdeten Bereichen einsetzbar.



Faseroptische Sensoren werden in extrinsische und intrinsische unterteilt. Bei den intrinsischen Sensoren ist die Glasfaser selbst der Sensor, während bei den extrinsischen die Glasfaser lediglich zum Lichttransport dient. Der eigentliche Sensoreffekt ist hier meist an der Spitze der Glasfaser in Form eines Festkörpers, eines fluoreszierenden Farbstoffs, einer Struktur in der Faser selbst oder als mikrooptische Struktur realisiert (Bild 1).

Die am häufigsten genutzten Sensoreffekte kodieren die Temperaturänderung in einer Änderung des Spektrums. Der an die Faserspitze geklebte GaAs-Kristall ändert die Lage der Bandkante mit etwa 0,4 nm/Kelvin. Dieser Effekt ist nicht vom Anwender beeinflussbar. Ein in der Auswerteeinheit befindliches Spektrometer registriert das vom Kristall reflektierte Licht einer Miniaturglühlampe. Aus der Lage der Bandkante wird die Temperatur ermittelt.

Beim Sensor mit Fabry-Perot-Cavity befinden sich zwei sehr kurze, teildurchlässig verspiegelte Faserenden in einer Mikrokapillare aus Glas. Die beiden sich

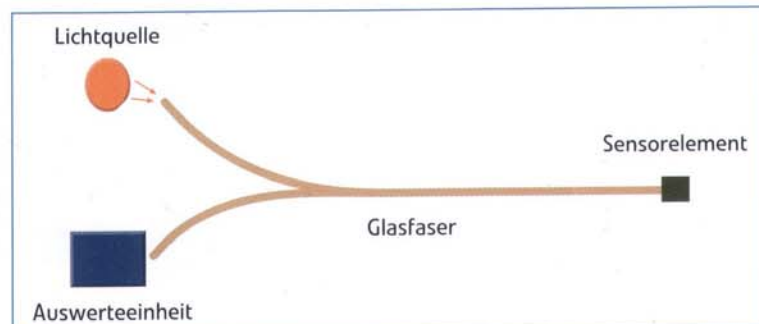


Bild 1. Schema extrinsischer faseroptischer Sensoren

Als temperaturabhängige Sensoreffekte werden unter anderem verwendet (Bild 2):

- die Abhängigkeit der Lage der Bandkante von GaAs,
- die Fluoreszenzabklingzeit eines Farbstoffs,
- die spektrale Änderung eines faserimplementierten Weißlichtinterferometers,
- die Wellenlängenänderung eines faseroptischen Bragg-Gitters.

gegenüberliegenden Faserenden bilden ein Interferenzfilter, dessen spektrale Reflektivität vom Abstand der Endfläche abhängt. Eine thermisch bedingte Ausdehnung oder Schrumpfung der Mikrokapillare ändert die Abstände der Faserenden und damit die spektrale Antwort des Filters. Aus den Spektren wird wiederum die Temperatur ermittelt. Die Größe des Abstands der Faserenden schwankt herstellungsbedingt zwischen den Sensoren. Ein in den faseroptischen Steckverbinder integrierter Elektronikchip enthält die Eich-



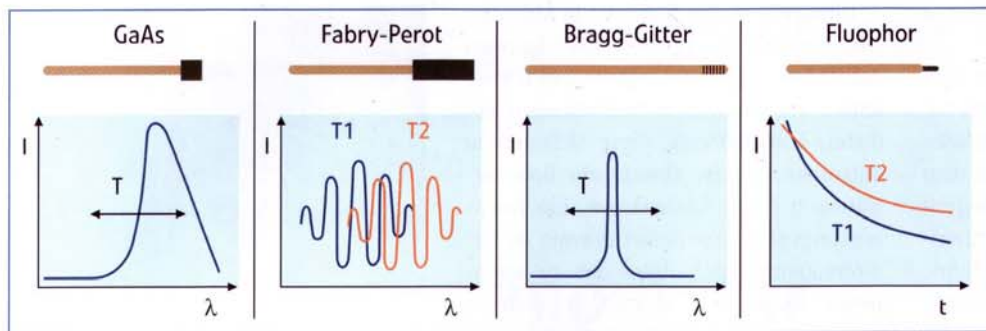


Bild 2. Beispiele für Sensoreffekte in faseroptischen Sensoren

kurven des Sensors und wird über die Auswerteeinheit ausgelesen.

Beim Bragg-Gitter-Sensor werden mit einem Laser in Monomodefasern periodische, irreversible Brechzahländerungen in die Faser eingeschrieben. Die Vielzahl dieser Störungen wirkt kollektiv als wellenlängenselektiver Spiegel, dessen Wellenlänge gemessen wird und, bedingt durch die thermische Ausdehnung der Faser, mit der Temperatur korreliert.

Diese Technologie gestattet im Gegensatz zu den bisher besprochenen Effekten die Anordnung von mehreren Messorten in einer Faser. Die Messpositionen sind durch die unterschiedlichen Wellenlängen kodiert. Die Anzahl der Messstellen ist dabei durch den insgesamt verfügbaren Spektralbereich und den notwendigen spektralen »Sicherheitsabstand« limitiert.

Die Abhängigkeit der Fluoreszenzabklingzeit von der Temperatur wird ebenfalls in einigen Messgeräten genutzt. Das Licht einer Blitzlampe oder neuerdings einer gepulsten blauen LED beleuchtet einen am Faserende befindlichen fluoreszierenden Farbstoff. Die Abklingkurven der Fluoreszenz sind temperaturabhängig. Ohne Spektrometer und nur mit ei-

nem getakteten Fotoempfänger wird zu zwei festen Zeitpunkten im Abstand von einigen Millisekunden nach dem Puls die Intensität gemessen und daraus die Temperatur ermittelt.

Alle Verfahren sind unabhängig von elektromagnetischen Feldern, da die Sensorköpfe nur aus dielektrischen Materialien (Glas, Klebstoff, Teflon, dielektrischer Verspiegelung, GaAs, Fluorophor und anderen) bestehen. Sensorlängen bis zu einigen hundert Metern sind bei allen Verfahren möglich. Die maximal messbare Temperatur wird durch die thermische Stabilität der am Sensorkopf verwendeten

KONTAKT

Polytec GmbH
76337 Waldbronn
Telefon: 07243 604-154
Telefax: 07243 69944
E-Mail: ot@polytec.de

Materialien bestimmt und liegt bei etwa 300 °C.

Intrinsische Messverfahren kombinieren die Rückstreuemesstechnik aus der fa-

seroptischen Übertragungstechnik mit dem Effekt der Ramanstreuung. Ein in die Glasfaser eingespeister Laserimpuls wird partiell an Inhomogenitäten der Faser zurückgestreut. Aus der Laufzeit des rückgestreuten Lichts ist der Ort ermittelbar. Gleichzeitig werden geringe Anteile des Lichts in ihrer Wellenlänge modifiziert. Der Anteil

dieses wellenlängenmodifizierten Lichts hängt von der Kabeltemperatur ab. Bei Messzeiten von bis zu einigen Minuten werden Ortsauflösungen im Meterbereich und Genauigkeiten von etwa ± 1 °C erreicht. Diese Systeme sind aber noch relativ teuer.

Anwendungen faseroptischer Temperaturmessung

Medizintechnik (Bilder 3 und 4): Faseroptische Thermometer erlauben die Messung an Patienten und Materialien im Kernspintomografen. Dort herrschen Feldstärken von einigen Tesla, und metallische Sensoren führen zu Fehlern in der Bildgewinnung. Für spezielle Krebstherapien sind Sonden mit Durchmessern von 0,5 mm verfügbar. Diese können minimalinvasiv zur Überwachung der Gewebetemperatur verwendet werden. Gesundes Gewebe soll durch die Einwirkung elektromagnetischer Felder nicht über 40 °C erwärmt werden, während kanzerogenes Gewebe durch höhere Temperaturen denaturiert. Andere Anwendungsfelder dieser Messtechnik liegen in der Lasertherapie. Durch ein Endoskop wird Laserenergie eingekoppelt und die Temperatur »

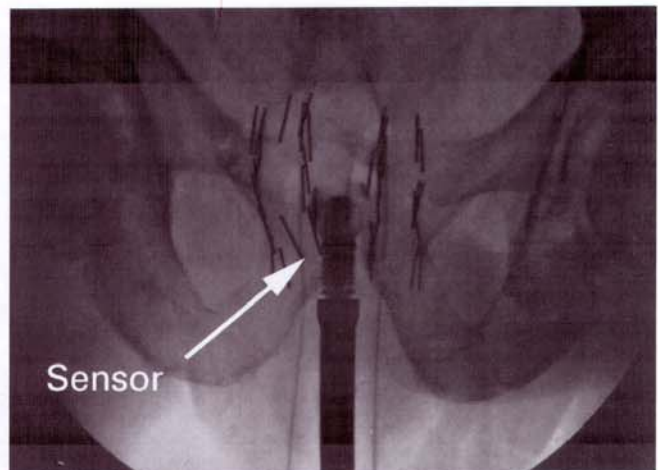
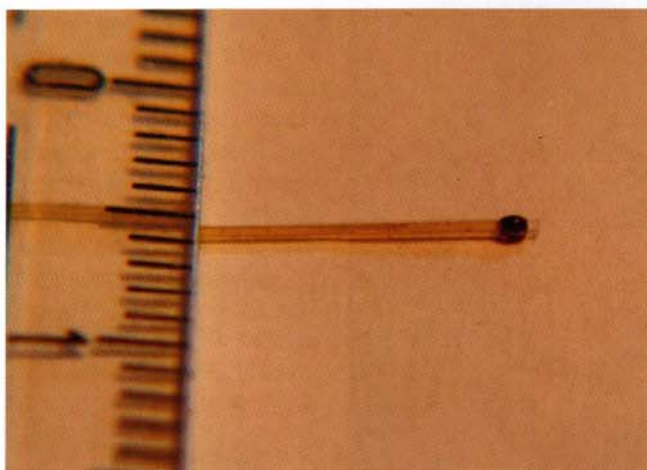


Bild 3. Faseroptischer Temperaturfühler mit 0,6 mm Durchmesser für medizinische Anwendungen (links) und Röntgenbild mit platzierten Sonden (rechts)

am Therapieort mit einer faseroptischen Sonde gemessen.

Mikrowellenchemie: Chemische Aufschlüsse unter Druck und Temperatur zur Bestimmung von Spuren und Ultraspuren in nachgelagerten Analyseverfahren oder Synthesen unter schonenden Bedingungen werden zunehmend in mit Mikrowellen beheizten Apparaturen durchgeführt. Auch hier bietet das faseroptische Ther-

Umwelttechnik: Industrielle Altlasten sind oft mit starken Verunreinigungen des Bodens durch Öl, toxische und schwer abbaubare organische Verbindungen belastet. Eine Methode, diese Altlasten zu entsorgen, ist der Einsatz der Bodenerwärmung durch Radiowellen. Ein Hochleistungsgenerator liefert Energie im Radiofrequenzbereich. Über das zu sanierende Areal sind Elektroden verteilt,

Bild 4. Vierfachsonde zur ortsauflösenden Messung



momenter fast die einzige Möglichkeit zum Steuern des Prozesses.

Holztrocknung: Bei der Holztrocknung und der Sanierung von Holzkonstruktionen in alten Gebäuden werden die Teile in eingebautem Zustand segmentweise mit Mikrowellen thermisch behandelt. Die Arbeitstemperatur liegt dabei zwischen 80 und 95 °C. Diese Temperatur ist ausreichend, um den Hauschwammbefall wirksam zu bekämpfen und gleichzeitig eine thermische Beschädigung des Materials zu verhindern. Die Kontrolle der Kerntemperatur des Holzes erfolgt über eine faseroptische Sonde in einer Bohrung im Holz.

mittels derer der Boden dielektrisch erwärmt wird. Des Weiteren sind im Boden eine Vielzahl von faseroptischen Sonden verteilt. Je nach Messwert können nun bestimmte Temperaturen beziehungsweise Temperaturverteilungen im Boden realisiert werden. Je nach Kontamination wird mittels geringer Temperaturerhöhungen der verstärkte Abbau durch Bodenorganismen aktiviert, beziehungsweise verdampft bei Temperaturen von bis zu 150 °C das Bodenwasser mit den wasserdampflichen organischen Verunreinigungen. Ein perforiertes Bodenluftabsaugsystem nimmt die Dämpfe auf und führt sie einem Filtersystem zu.



Bild 5. Versuchsanlage des Umweltforschungszentrums UFZ Leipzig-Halle zur Bodensanierung

Energietechnik: Die Liberalisierung des Strommarkts hat dazu geführt, dass bestehende Kraftwerke und Netze bis an ihre Leistungsgrenze ausgelastet werden. Um die Betriebssicherheit zu gewährleisten, gehen die Betreiber zunehmend dazu über, an kritischen Stellen in Generatoren und Transformatoren die Temperatur zu messen. Hochleistungsgeneratoren sind oft zwecks effektiver Kühlung mit Wasserstoff gefüllt. Zur stark elektromagnetisch verseuchten Umgebung kommt hier noch die Explosionsgefahr. Faseroptische Thermometer sind auch hier die ideale Lösung.

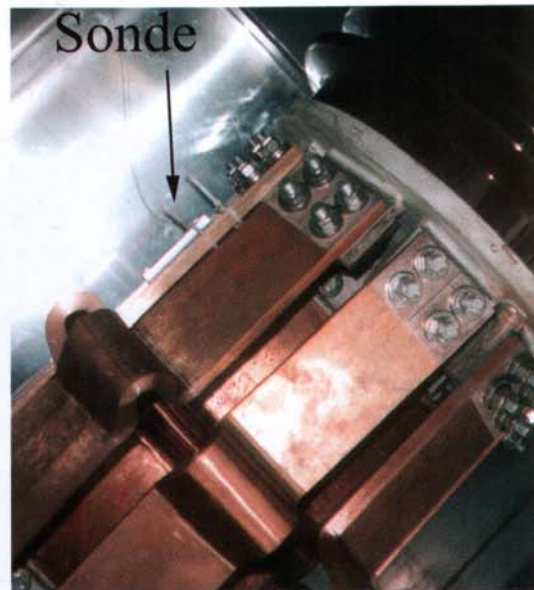


Bild 6. Faseroptische Temperaturmessung an der Stromdurchführung eines Transformators

Fazit und Ausblick

Optische Techniken durchdringen zunehmend unsere Welt. Vielleicht findet der geneigte Leser demnächst in seiner Haushaltsmikrowelle auch eine faseroptische Temperaturmessung zum zeitgesteuerten Auftauen von Lebensmitteln oder zum Steuern des optimalen Garprozesses. Die Zukunft hält für die Fi(e)ber-Thermometer mit Sicherheit eine Vielzahl neuer Anwendungen bereit.