

Fraunhofer Institut
Zuverlässigkeit und
Mikrointegration

Innovative Dehnungs- und Temperatursensorik mit Faser Bragg Gittern

Faseroptische Sensoren ermöglichen die Prozessanalyse in schwer zugänglichen und räumlich verteilten Bereichen.

Hier einige Beispiele:

- 1) Bauteilbelastung im Spritzguss und Transfermolding
- 2) Stressbestimmung beim Aushärten von Polymeren
- 2) Chemische Mikroreaktionstechnik
- 3) Zuverlässigkeitsanalyse ("Structural Health Monitoring")

Die Gründe für die große Verbreitung der faseroptischen Sensoren liegen in ihren einzigartigen Vorteilen gegenüber elektrischen DMS:

- Der Faserdurchmesser von 125 μm ermöglicht den Einsatz auch in engen Spalten ("minimal invasives Sensornetzwerk").
- Das Hintereinanderschalten und Verzweigen von Fasern (Multiplexen) ermöglicht die gleichzeitige Auswertung zahlreicher Sensoren mit einer einzigen Zuleitung. Die geringe optische Dämpfung von 0,16 dB/km lässt dabei große Abstände zwischen Messobjekt und Auswertegerät zu.
- Fasersensoren werden weder durch elektromagnetische Felder gestört, noch erzeugen sie solche (Einsatz in ex-geschützter Umgebung)
- Die geringe Masse des Sensors garantiert ein schnelles Ansprechen auf thermische und mechanische Veränderungen.
- Die Fasern lassen sich direkt in das Polymer eingießen ohne dass Klebungen oder andere Befestigungen benötigt werden.

1) Bauteilbelastung im Spritzguss und Transfermolding

Die Belastung elektronischer Bauteile während der Polymerverkapselung wird in der Prozess- und Produktentwicklung oftmals vernachlässigt. Doch selbst für stressarme Verkapselungsprozesse wie Transferpressen, Vakuumguss und Hotmelt belehrt uns die Praxis oftmals eines Besseren. Da sich Glasfasersensoren thermomechanisch kaum von den Füllstoffen der meisten Verkapselungsmaterialien unterscheiden, sind sie hervorragend als „optische Dehnmessstreifen“ in Faserverbundwerkstoffen (CFK, GFK) und im Polymerverguss einsetzbar (siehe Titelbild).

Durch die Verknüpfung von fluidischer Simulation, experimenteller Dehnungsmessung mit Faser Bragg Gittern, analytischen Rechnungen und thermomechanischen Simulationen lässt sich der Prozess der Elektronikverkapselung charakterisieren und optimieren. Beispielsweise ist in Bild 1 deutlich zu sehen, dass die größten Belastung für die Elektronik beim Polymerverguss das Auswerfen aus der Werkzeugform und nicht das Auftreffen des Materials ist.

Eine Neuentwicklung der Abteilung ermöglicht jetzt auch die Bestimmung der Druckverteilung an der Werkzeugkavität und auf der Oberfläche von Einlegeteilen. Möglich macht dies eine Kombination der bewährten Druckmessfolien von Fujifilm und eines speziellen Multilayers, der den Farbumschlag der Folie auch bei hohen Temperaturen ermöglicht.

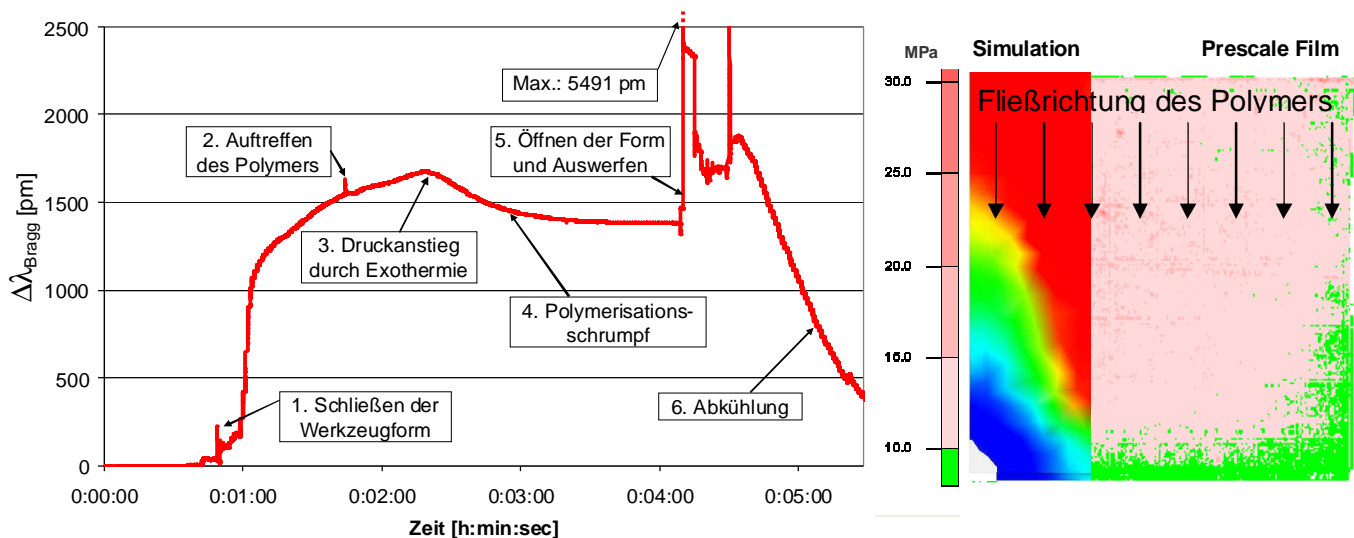


Bild 1a:
Wellenlängenverschiebung des zwischen IC Bauteil und Leiterplatte befestigten FBG Sensors aufgrund von Temperatur- und Dehnungsbelastungen beim Transfer Molding (175°C, 50 bar, 15s)
Deutlich ist die Belastung beim Auswerfen aus der Werkzeugform zu erkennen

Bild 1b:
Druckverteilung in einer Werkzeugkavität beim Transfer Molding.

Links: FEM Simulation
Rechts: Druckfolie

Weiterführende Informationen:

opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2007/1540/pdf/schreier-alt_thomas.pdf

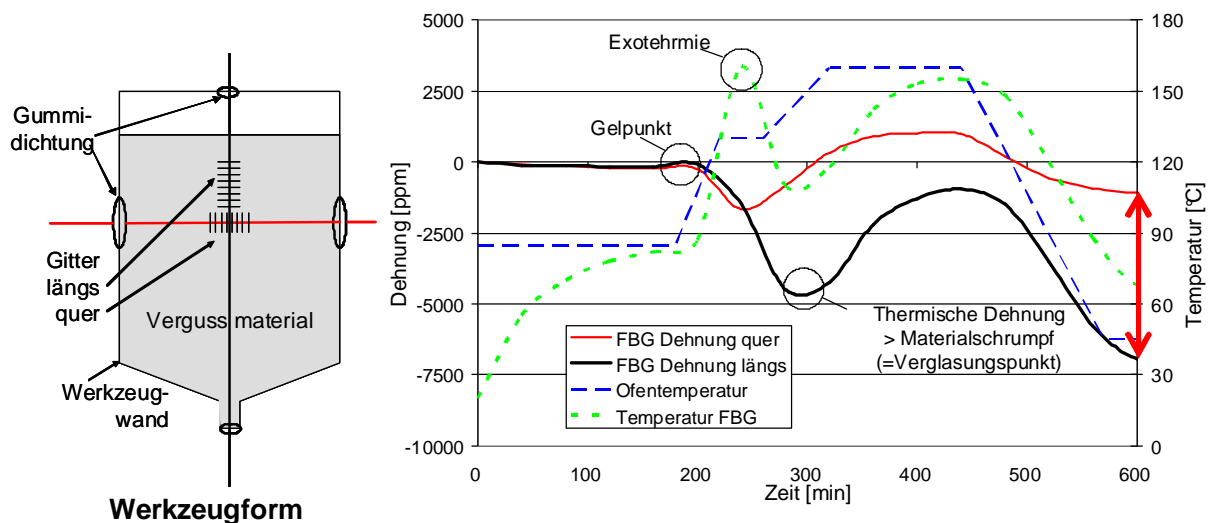
2) Stressbestimmung beim Aushärten von Polymeren

Elektronische Bauteile werden nicht nur während der Polymerverkapselung belastet (Druck, Auswerfen), sondern auch durch den Polymerisationsschrumpf und die unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Materialien.

Wichtig sind bei der Belastungsprognose zwei Randbedingungen:

1. Ausschließlich der Materialschrumpf **nach dem Gelpunkt** des Materials führt zur **mechanischen Lastübertragung**. Vor der Gelierung kann das Polymer ungehindert schrumpfen, ohne Spannungen zu übertragen.
2. Beim Aushärten und anschließenden Abkühlen des Polymers ändert sich der Vernetzungsgrad des Polymers von typisch 40% auf 90%. Gleichzeitig ändern sich die **viskoelastischen Materialparameter** (insbes. Schub- und Relaxationsmodul) in einer komplexen Weise, die numerischen Simulationen bis heute **nur eingeschränkt zugänglich** ist.

Ein entscheidender Vorteil der Stresserfassung mit faseroptischen Bragg Gittern ist, dass der Materialschrumpf des Polymers so erfasst wird, wie ihn auch die vergossenen Komponenten erfahren. D.h. erst ab dem Gelpunkt, an dem eine kraftschlüssige Kopplung zum Polymer auftritt, kommt es zur Kompression der Faser. Durch vergleichende Untersuchungen zum frei schrumpfenden Polymer kann mit Hilfe der numerischen Simulation abgeschätzt werden, wie viel Spannungen im ausgehärteten Polymer eingefroren sind.



Weiterführende Informationen:

Schreier-Alt, T.; Ansorge, F.; Reichl, H.; [Fiber Optic Strain and Structural Health Monitoring in Polymer Electronic Packaging, 57th Electronic Components and Technology Conference ECTC '07, May 29-June 1 2007, 1498 - 1503](#)

2) Chemische Mikroreaktionstechnik

Für den Einsatz in der Mikrofluidik sind Faser Bragg Gitter ebenfalls geeignet, da der Faserdurchmesser von 125 μm nur einen geringen Strömungswiderstand bietet und die thermische Trägheit durch ihre geringe Masse minimiert wird.

Ein weiterer Vorteil von Faser Bragg Gittern ist ihre Resistenz gegenüber zahlreichen Chemikalien, die den Einsatz unter Randbedingungen ermöglichen, die gängiger Temperatursensorik verschlossen bleiben.

Die Technologie hat sich in Pilotanlagen der Firma Bayer Technology Services längst bewährt, und seit dem Spätsommer 2006 stellen FBGs ihre Leistungsfähigkeit in zwei industriellen Produktionsanlagen unter Beweis.



Bild 3:
Faserzuführung zur
Temperaturmessung in
einer Mikroreaktions-
kammer der Firma
BAYER Technology
Services.

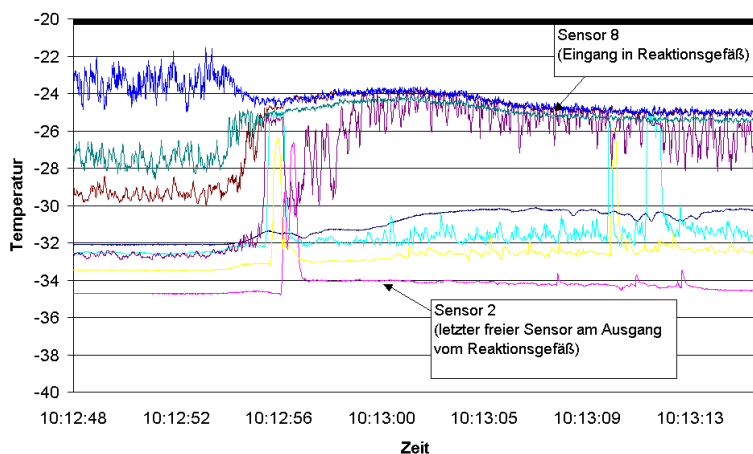


Bild 4:
Temperaturverlauf in
nach dem Ausfall einer
Pumpe.
Man sieht, wie die Insta-
bilität vom Eingang des
der Mikroreaktionskam-
mer (Sensor 8) zum
Ausgang (Sensor 2)
wandert.

Weiterführende Informationen:

www.research.bayer.de/ausgabe_18/18_Messtechnik.pdf

3) Zuverlässigkeitsprognose

Structural Health Monitoring am Beispiel des Polymervergusses:

Die Wahrscheinlichkeit für eine Delamination des Polymers ist an der Oberfläche der Glasfaser gegenüber anderen Einlegeteilen erhöht. Ursache ist der im Vergleich zu anderen Bauteilen geringere thermische Ausdehnungskoeffizient der Glasfaser von $\alpha_A = 0,55 \text{ ppm/K}$. Der große Unterschied zum Polymer mit $\alpha > 10 \text{ ppm/K}$ führt an der Faseroberfläche zu erhöhten Scherspannungen, wodurch das Polymer bei vergleichbaren Haftbedingungen zuerst am Fasersensor delaminieren wird. Dies ermöglicht ihren Einsatz zur vorausschauenden Zuverlässigkeitsprognose.

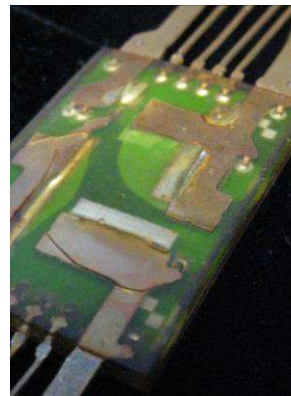
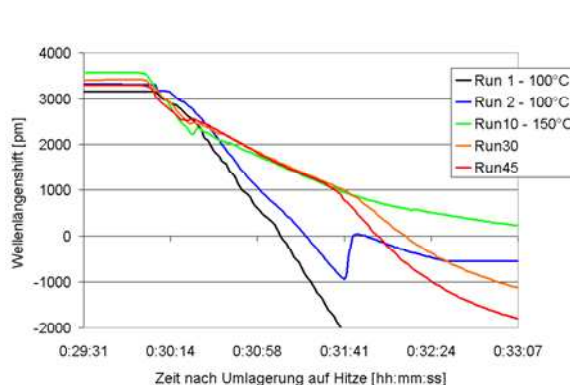


Bild 5:
Delamination
beim Abkühlen
einer Fenster-
hebersteuerung
(thermischer
Schocktest)

Structural Health Monitoring am Beispiel eines Kugellagers:

- Sensitivität: 50g Achslast wird sicher erkannt
- Abrollbewegung der einzelnen Kugeln wird deutlich erkannt
- Sensorintensität ist für jede einzelne Kugel charakteristisch
- Drehrichtung kann anhand des Sensorsignals erkannt werden:
- Sensorsignal zeigt eine geringe Nichtlinearität mit steigender Achslast
- Vorspannung des Kugellagers ergibt Nullsignal auch ohne Achslast



Bild 6:
Einbettung eines
„minimal invasiven
Sensornetzwerks“
mit mehreren Deh-
nungssensoren zur
Zuverlässigkeits-
überwachung eines
Kugellagers.

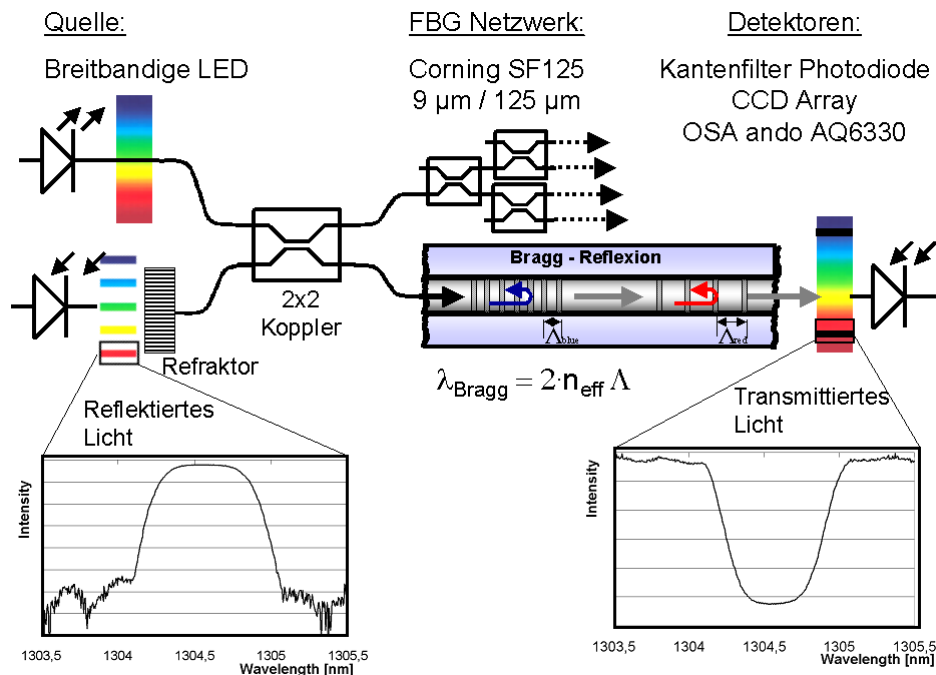
Wirkungsweise der Faser Bragg Gitter

Bei faseroptischen Bragg Gitter Sensoren wird mit einem UV-Laser in eine kommerziell verfügbare Monomode-Glasfaser ein optisches Gitter eingebrannt. An diesem kommt es zur Totalreflexion, wenn die Wellenlänge des einfallenden Lichts λ mit der Gitterperiode Λ gemäß der Bragg-Bedingung $\lambda_B = 2 \cdot n_{\text{eff}} \cdot \Lambda$ übereinstimmt.

Wird der effektive Brechungsindex des Faserkerns n_{eff} oder die Gitterperiode Λ durch äußere Einflüsse gestört, führt dies zu einer Veränderung der reflektierten Wellenlänge. Beispielsweise ist das reflektierte Licht einer komprimierten Glasfaser ins Blaue verschoben. Die Verschiebung $\Delta\lambda$ der reflektierten Wellenlänge durch eine Dehnung $\varepsilon = \Delta l/l$ oder Temperaturänderung ΔT wird beschrieben durch

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_B} = (\alpha_\Lambda + \alpha_n) \cdot \Delta T + \kappa \cdot \varepsilon$$

Hierbei ist $\alpha_\Lambda = 0,55 \text{ ppm/K}$ der Ausdehnungskoeffizient der Faser und $\alpha_n = 8,6 \cdot 10^{-6}/\text{K}$ die dominierende thermo- optische Konstante. Der mechanische Kopplungskoeffizient κ beträgt 1,2 pm pro ppm Dehnung. Es lassen sich Messgeschwindigkeiten bis zu mehreren kHz realisieren. Die Auflösung für Dehnungen liegt bei wenigen $\mu\text{m/m}$.



Kontakt:

Fraunhofer IZM
Mikro-Mechatronische Systeme
Dr.-Ing. Thomas Schreier-Alt
Argelsrieder Feld 6
D-82234 Oberpfaffenhofen
Tel: 08153-9097-552
Email: schreieralt@mmz.izm.fraunhofer.de