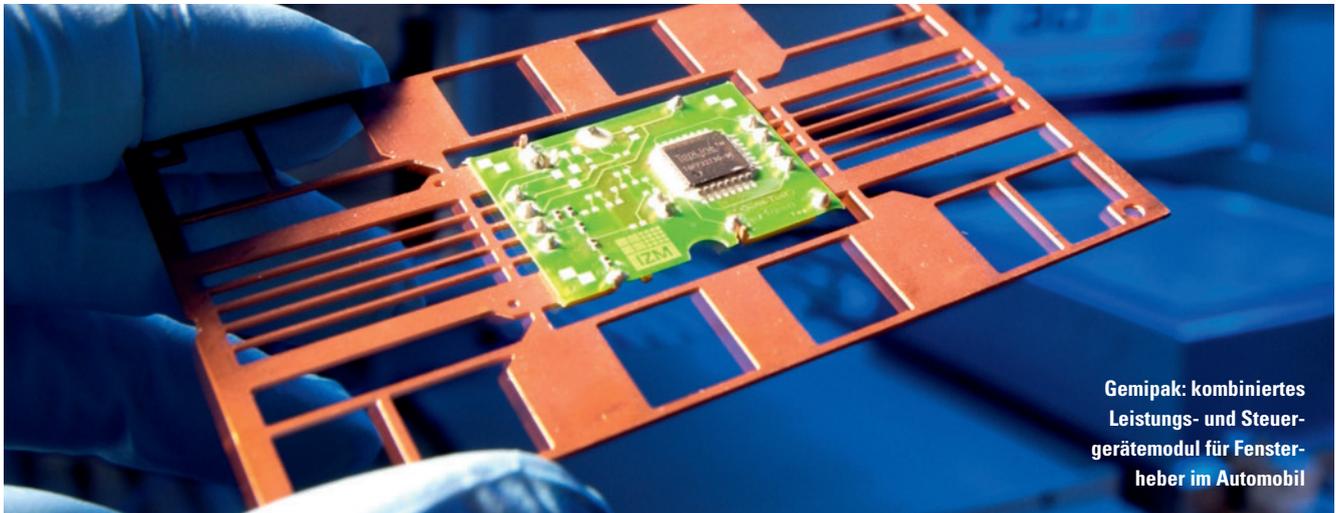


Licht ins Dunkel der Elektronikverkapselung



Gemipak: kombiniertes Leistungs- und Steuergerätemodul für Fensterheber im Automobil

Prozessoptimierung. Faseroptische Bragg-Gitter und innovative Werkzeuginnen-drucksensoren ermöglichen die Belastungsanalyse in zentralen Prozessschritten der Elektronikverkapselung, und zwar vom Einspritzen des Polymers über das Auswerfen aus dem Werkzeug bis hin zum Materialschrumpf. Kombiniert mit numerischer Simulation gestatten sie Einblicke in das Verhalten des Polymers bei Zuverlässigkeitstests.

**THOMAS SCHREIER-ALT
FRANK ANSORGE**

Die Belastung elektronischer Bauteile während der Polymerverkapselung wird in der Prozess- und Produktentwicklung oftmals vernachlässigt. Doch selbst für stressarme Verkapselungsprozesse wie Transferpressen, Vakuumgießen und Hotmelt belehrt uns die Praxis oftmals eines Besseren.

Die Integration von Sensoren und Aktuatoren in elektronische Systeme macht aus der klassischen Ein-Chip-Gehäuseung einen komplexen mikro-mechatronischen Verkapselungsprozess. Dessen Auslegung bestimmt die Zuverlässigkeit des Endprodukts maßgeblich: Vorspannungen aus dem Verkapselungsprozess überlagern sich mit Belastungen im Feldein-

satz, Prozessschwankungen beeinflussen Signalstabilität, Zuverlässigkeit und Lebensdauer. Beispiele sind die Integration von MEMS-Sensoren und Steuerelektronik in Multi-Chip-Module (MCM). Das Prozessfenster für derart komplexe Verkapselungsprozesse ist deutlich enger als bei der klassischen Einzelchip-Gehäuseung.

Werkzeuginnendruck-Sensoren

Zur Bestimmung des zeitlichen Druckverlaufs in der Werkzeugkavität können im Spritzgießen und Transferpressen Werkzeuginnendrucksensoren eingesetzt werden. Die flächige Druckverteilung lässt sich mit dieser Methode jedoch nicht erfassen. Auch hinterlassen die Sensoren unschöne Abdrücke auf den Bauteilen.

Ein weiteres am Fraunhofer IZM erprobtes Verfahren nutzt kommerzielle Messfolien, die sich unter Druck ver-

färben. Durch einen patentierten Mehrlagenaufbau können Probleme durch die Erweichung des PET-Trägermaterials bei 80°C vermindert werden. So werden Messungen im Spritzgusswerkzeug und selbst beim Transferpressen möglich, wo Drücke von 100 bar bei Werkzeugtemperaturen von bis zu 180°C mehrere Minuten lang erfasst werden müssen.

Der Einsatz von elektrischen Dehnmessstreifen und Stressmesschips auf Siliziumbasis wird ebenfalls am Fraunhofer IZM getestet.

Faseroptische Bragg-Gitter (FBG)

Da sich Glasfasersensoren thermo-mechanisch kaum von den Füllstoffen der meisten Verkapselungsmaterialien unterscheiden (Glasfasern oder sphärische Glaspartikeln zur Anpassung an die Temperaturdehnung der IC-Chips), ▶

ARTIKEL ALS PDF unter www.kunststoffe.de
Dokumenten-Nummer KU110079

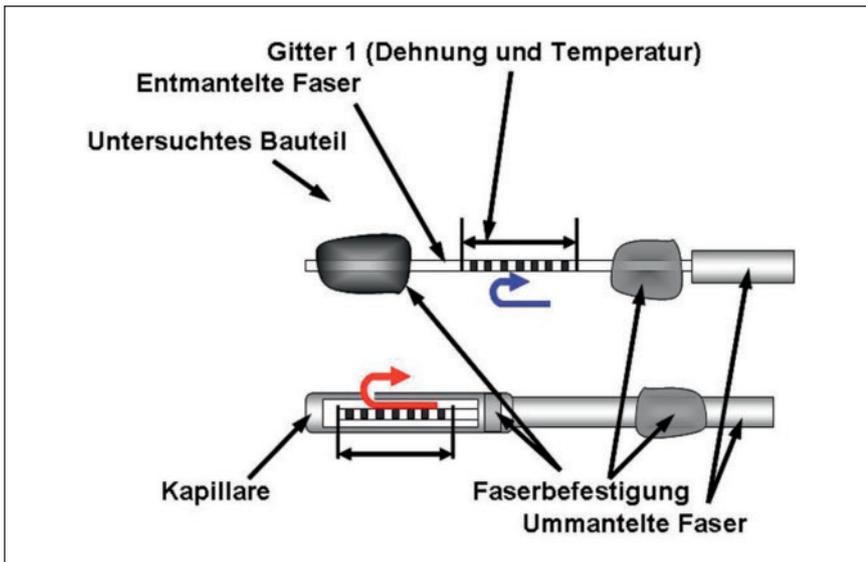


Bild 1. Integration der optischen Dehnmessstreifen in das zu verkapselnde elektronische System

haben FBG als „optischer Dehnmessstreifen“ in Faserverbundwerkstoffen (CFK, GFK) große Verbreitung gefunden. Die direkt in die Laminare integrierten Fasern werden im Flugzeugbau (z.B. Schadensanalyse in Tragflächen) ebenso

■ Die geringe Masse des Sensors garantiert minimale Trägheit.

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 mit der Gitterperiode gemäß der Bragg-Bedingung übereinstimmt. Wird der effektive Brechungsindex des Faserkerns oder die Gitterperiode durch äußere Einflüsse gestört, führt dies zu einer Veränderung der reflektierten Wellenlänge. Beispielsweise ist das reflektierte Licht einer komprimierten Glasfaser ins Blaue verschoben.

Prozesscharakterisierung

Die Polymerverkapselung mittels Transferpressen zeichnet sich im Vergleich zum Spritzgießen durch weit geringere Belastungen für die eingebettete Elektronik aus. Die Viskosität der Polymere liegt bei

einigen Hundert Pascalsekunden, Drücke überschreiten selten 100 bar und die Maximaltemperatur liegt meist unter 200°C.

Um die im Verkapselungsprozess auftretenden Belastungen zu erfassen, empfiehlt es sich, mehrere Glasfasersensoren in die Kavität zu integrieren (beispielhaft ein Fensterhebermodul mit integrierter Steuerungs- und Leistungselektronik im Titelbild).

Eine Faser (Gitter #1 in Bild 1) wird vor und nach dem Gitter auf die Leiterplatte und das zu untersuchende Bauteil geklebt. Somit erfasst das dehnungsempfindliche Bragg-Gitter alle Relativbewegungen des entlöteten Bauteils gegenüber der Leiterplatte. Über die thermomechanischen Parameter der Glasfaser lassen sich mithilfe numerischer Simulationen die entsprechenden Belastungen der Lötstellen am eingelöteten Bauteil berechnen.

Zur Temperaturkompensation wird eine zweite Faser (Gitter #2 in Bild 2) durch eine Kanüle vom Polymer mechanisch entkoppelt, die als reiner Temperatursensor dient. Die in Tabelle 1 beschriebenen Prozessschritte sind in Bild 3 anhand der Wellenlängenverschiebung der am Bauteil befestigten Faser beim Verkapseln zu erkennen:

1. Bauteil wird durch Kontakt zur heißen Werkzeugform erwärmt.
2. Niederviskoses Polymer trifft auf das Bauteil.
3. Exotherme Reaktion bewirkt eine Erwärmung des Polymers und damit Druckanstieg.
4. Materialschumpf führt teilweise zum Ablösen des Polymers von der Werkzeugwand, was eine leichte Entformbarkeit begünstigen sollte.
5. Öffnen des Werkzeugs und Auswerfen des Bauteils ergeben maximale Dehnungen im Sensor.

i Institut

Fraunhofer IZM
Abt. Mikromechatronische Systeme
Argelsrieder Feld 6
D-82234 Oberpfaffenhofen
Tel. +49 8153 9097-552
Fax +49 8153 9097-511
www.mmz.izm.fraunhofer.de

eingesetzt wie im Maschinenbau (z.B. Vibrationserfassung in Fräsmaschinen mit hohem CFK-Anteil).

Die Gründe für die Verbreitung der FBG liegen in einzigartigen Vorteilen gegenüber elektrischen DMS (Dehnmessstreifen):

- Direktes Einbetten der Fasern in das Polymer möglich.
- Der Faserdurchmesser von 125 µm ermöglicht den Einsatz auch in engen Spalten.
- Das Hintereinanderschalten und Verzweigen von Fasern (Multiplexen) ermöglicht die simultane Auswertung mit einer einzigen Zuleitung.
- Geringe optische Verluste lassen große Abstände zwischen Messobjekt und Auswertegerät zu.
- FBG werden weder durch elektromagnetische Felder gestört, noch erzeugen sie solche (Einsatz in ex-geschützter Umgebung).

Prozessschritt	Mögliche Ursachen für Bauteilbeschädigung
Füllung	Viskosität des Polymers zu hoch. Typische Ursachen sind: a) Vorwärmzeit der Materialtablette zu kurz, Angusskanal unterdimensioniert, b) Materialscherung im Einlassbereich zu gering, Bauteilpositionierung falsch (direkt im Angussbereich, nicht „ausbalanciert“)
Nachdruck	Maschinensteuerung zu träge beim Umschalten von Vorschub auf Nachdruck, ungenügende Entlüftung (Ausdehnung von Restgas beim Polymerisieren), exotherme Drucküberhöhung
Auswerfen	falsche Positionierung der Auswerferstifte, Material ungenügend / zu stark geliert, Haftung an Werkzeugwand zu hoch
Vernetzung (im Werkzeug und Postcuring)	thermomechanisch ungünstige Kombination aus Geometrie und Materialauswahl (Problem nicht unbedingt an einer Bauteilverwölbung zu erkennen), falsches Aushärteprofil (ungenügende Verweilzeit für Relaxationsprozesse)

Tabelle 1. Mögliche Belastungen beim Verkapseln elektronischer Bauteile

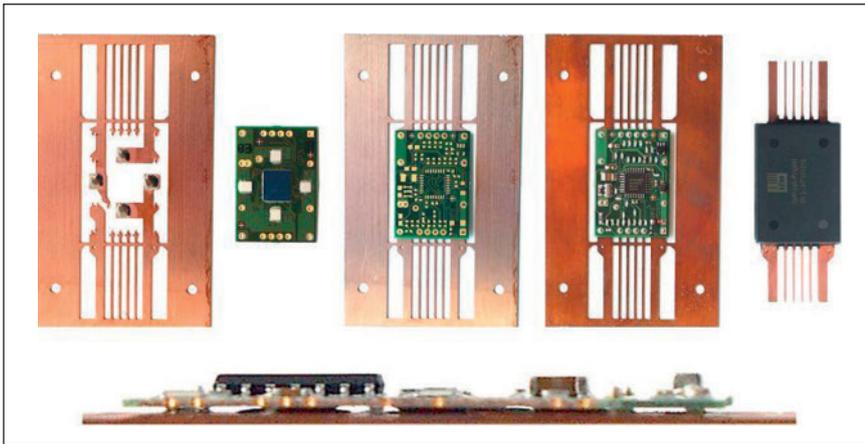


Bild 2. Herstellungsprozess der Fensterhebersteuerung (unten: Seitenansicht)

6. Abkühlung des Bauteils und Schrumpfung durch Polymerisation.

Es ist auffällig, dass nicht der Einspritzdruck die kritischste Belastung des Bauteils darstellt, sondern das Entformen. In diesem Fall treten durch die Form des Moduls starke Hebelkräfte auf, die zu einer Verbiegung der Platine führen können.

Polymerisation

Während Temperatur und Dehnung durch Differenzbildung der Reflexionssignale der beiden Gitter separiert werden können, werden die einhergehenden mechanischen Spannungen im Polymer durch eine veränderte Versuchsanordnung abgeleitet. Die zugrundeliegende Idee ist, den ungehinderten Materialschumpf des Polymers zu messen und mit dem tatsächlichen Schumpf im Bauteil zu vergleichen. Für die Bauteilqualität ist entscheidend, welcher Anteil des unterdrückten Polymerschumpfes zu mechanischen Spannungen führen wird und welche Spannungen beim Aushärten wegrelaxieren können.

Hierzu werden Fasern einerseits in frei komprimierbares Polymer eingegossen,

Wellenlängenverschiebung

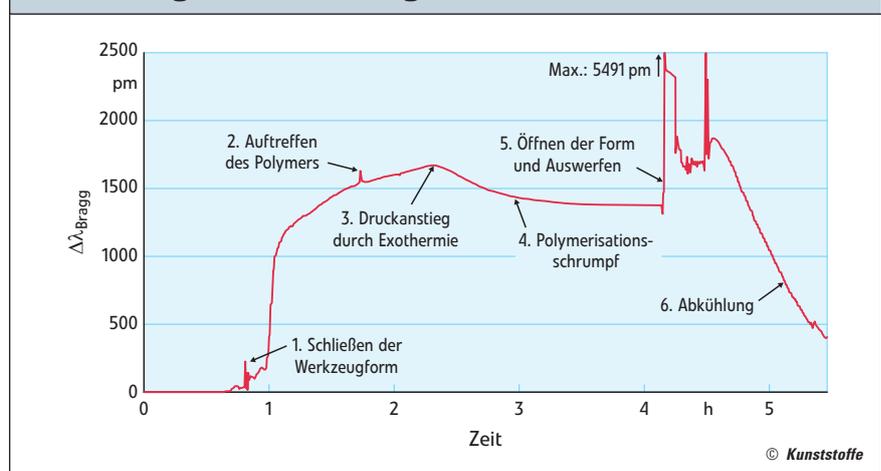


Bild 3. Wellenlängenverschiebung des zwischen IC-Bauteil und Leiterplatte befestigten Sensors aufgrund von Temperatur- und Dehnungsbelastungen beim Transferpressen

andererseits in das durch Einlege-teile versteifte Modul integriert. Damit sich das Polymer im ersten Fall ungehindert spannungsfrei zusammenziehen kann, muss entweder die Haftung zum Werkzeug unterbunden werden (z.B. durch Teflonbeschichtung) oder das Werkzeug aus einem nachgiebigen Material her-

gestellt werden, in unserem Fall aus Silikon (Bild 4), mit dem auch erste Prototypen im Vakuumgießen aufgebaut wurden.

Wird die Faser in das reale mechatronische Modul eingebettet, behindert die Ankopplung des Polymers an die Einlege-teile den Materialschrumpf. Bild 5 zeigt den zeitlichen Verlauf der Faserkomprimierung beim Aushärten des Harzes. Es ist zu erkennen, dass die Glasfaser am Gelpunkt des Polymers an die umgebende Harzmatrix koppelt und durch den Polymerisationsschrumpf ebenfalls komprimiert wird. Zum gleichen Zeitpunkt kommt es zur me-

chanischen Kopplung zwischen Polymer, Leiterplatte und Leadframe: Erst ab diesem Moment werden sich mechanische Spannungen im System aufbauen!

Während sich das frei komprimierbare Polymer in der Silikonform um 2000 $\mu\text{m}/\text{m}$ zusammenzieht, sind es in ►

einer Metallform mit Einlegeteilen lediglich 200 µm/m. In umfangreichen Rechnungen und Experimenten konnte gezeigt werden, dass insbesondere steile Ofenprofile beim Nachhärten den Anteil eingefrorener Spannungen anwachsen lassen. Hier schreitet die Vernetzung schneller voran, als dass die Relaxationszeit einen Abbau der Spannungen zuließe. Dies kann soweit gehen, dass das Polymer bereits beim Aushärten von den Einlegeteilen delaminiert (Bild 6) oder Spannungsrisse im Polymer auftreten.

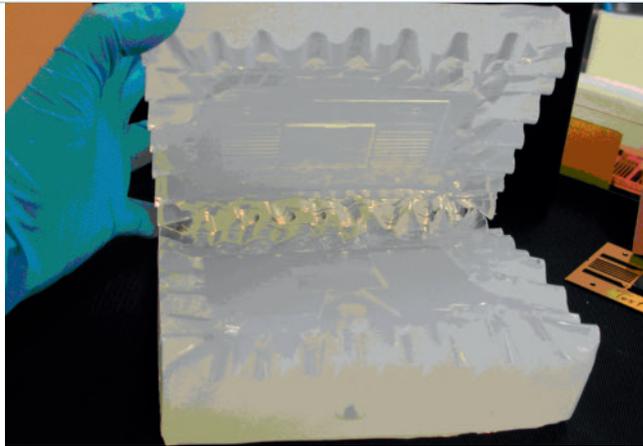


Bild 4. Flexible Silikonform

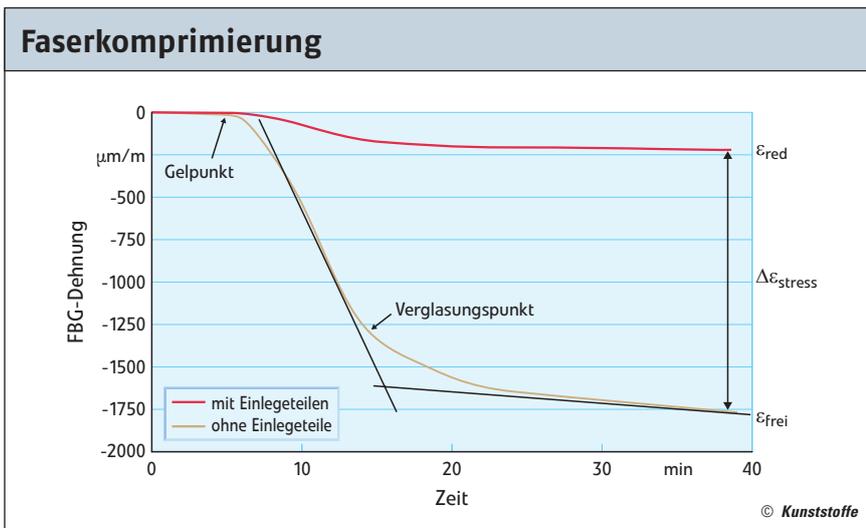


Bild 5. Materialschumpfung im Testmodul mit und ohne Einlegeteile

Zuverlässigkeitsprognose

Die Wahrscheinlichkeit für eine Delamination ist an der Oberfläche der Glasfaser gegenüber anderen Einlegeteilen erhöht. Ursache ist der im Vergleich zu anderen Bauteilen geringere thermische Ausdehnungskoeffizient der Glasfaser von 0,55 ppm/K. Der große Unterschied zum Polymer mit >10 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.

Fazit

Faseroptische Bragg-Gitter ermöglichen die Charakterisierung zahlreicher Kunststoffverkapselungsprozesse. Diese Sensoren gestatten die Belastungsanalyse von verkapselten Elektronikbauteilen und geben Einblicke in den Herstellungsprozess, was mit anderen Sensoren nur eingeschränkt möglich ist. Die durchgängige Datenerfassung erweist sich als hilfreiche Ergänzung zu anderen Sen-

sorsystemen. Beispielhaft wurde dies am Transferpressen verdeutlicht.

Die Belastungsmessung direkt im industriellen Verkapselungsprozess kann Nachteile von idealisierten Laborexperimenten ausgleichen, beispielsweise die Beeinflussung der Polymerisationskinetik durch das Vorhandensein massereicher

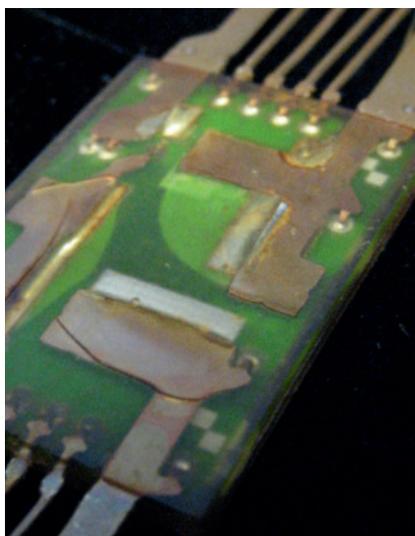


Bild 6. Zuverlässigkeitsprognose: Delamination nach 50 thermischen Wechsels

Einlegeteile. Mit eingebetteten Fasersensoren lassen sich Gel- und Verglasungspunkt am Fertigungsbauteil bestimmen, und sie ermöglichen eine Optimierung der Aushärteprofile hinsichtlich Spannungsarmut und Prozessdauer. Hierbei ist von Vorteil, dass mechanische Spannungen im Polymer auch in engen Zwischenräumen erfasst werden können. Weiterhin bieten Fasersensoren das Potenzial, Strukturschäden nicht nur zu erfassen, sondern auch zu prognostizieren. ■

DANK

Dank gilt der Vogt Elektronik GmbH und der Robert Bosch GmbH für ihre Unterstützung bei der Durchführung der Messungen.

DIE AUTOREN

DR.-ING. THOMAS SCHREIER-ALT, geb. 1969, ist Projektleiter am Mikro-Mechatronikzentrum MMZ des Fraunhofer Instituts für Zuverlässigkeit und Mikrointegration; schreieralt@mmz.izm.fraunhofer.de

DR.-ING. FRANK ANSORGE, geb. 1965, ist Abteilungsleiter des MMZ am Fraunhofer IZM.

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

Throwing Light on Electronics Encapsulation

PROCESS OPTIMIZATION. Fiber optic Bragg gratings and innovative sensors for internal mold pressure are enabling load analysis of pivotal steps in the processing of electronics encapsulation. They are relevant not just for injecting the polymer, but also for demolding and even for materials shrinkage. When combined with numerical simulation, they also provide insights into polymer behavior during reliability tests.

NOTE: You can read the complete article in our magazine *Kunststoffe international* and by entering the document number **PE110079** on our website at www.kunststoffe-international.com