

# Verformung von Mikrosystemen bei hohen Temperaturen

M. Berndt\*, D. Carl\*\*, M. Fratz\*\*, M. Steiert\*, R. Zeiser\*

\* Universität Freiburg, Institut für Mikrosystemtechnik (IMTEK), Lehrstuhl Aufbau- und Verbindungstechnik, Georges-Köhler-Allee 103, 79110 Freiburg, Deutschland

\*\*Fraunhofer Institut für Physikalische Messtechnik – IPM, Heidenhofstraße 8, 79110 Freiburg, Deutschland

[matthias.steiert@imtek.uni-freiburg.de](mailto:matthias.steiert@imtek.uni-freiburg.de)

Mit Hilfe von FE-Simulationen lassen sich zuverlässig Aussagen über Einflüsse und daraus resultierende Belastungen auf ein System treffen. Die Verifikation der Simulationen erfolgt durch optische Messsysteme. Hierzu wurden ein ESPI- und ein DIC-System etabliert.

## 1 Einführung

Hochtemperaturtaugliche Mikroelektronik ermöglicht in vielen Wirtschaftszweigen neue Technologien um Effizienz und Wirtschaftlichkeit zu steigern. Beispielsweise können mit hochtemperaturfesten Sensoren, Prozesse, etwa der Chemiewirtschaft, in einem bislang unbekanntem Grad überwacht und damit effizienter gestaltet werden.

Ein großes Innovationspotenzial ergibt sich durch den Einsatz derartiger Sensorik im Automobil- und Motorenbau. Bereits bekannte Konzeptionen der Kraftstoffzündung führen nachweislich zu einer deutlichen Steigerung des Motorenwirkungsgrades (siehe Abb. 1). Diese Konzepte erfordern allerdings die exakte in Realzeit ermittelte Kenntnis über Druck und Temperatur in der Motorbrennkammer. Sensoren und Aufbauten die hier zum Einsatz kommen müssen bei Temperaturen über 500 °C arbeiten können.

Sensorkonzepte auf Siliziumcarbit sind geeignet diesen Anforderungen zu genügen. Bislang sind allerdings keine gleichfalls hochtemperaturfesten Aufbautechnologien bekannt.

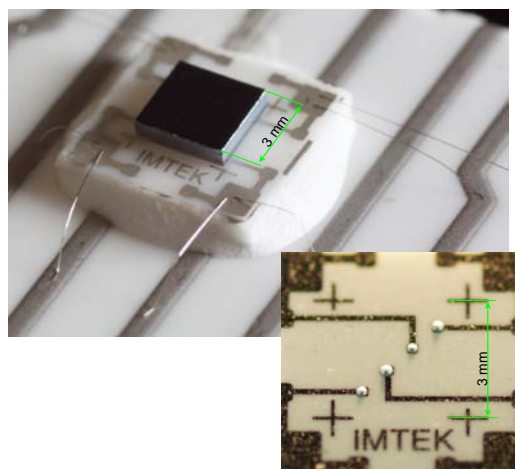


**Abb. 1** Beispiel für den Einsatz Hochtemperaturfester Aufbautechnik im Brennraum eines KFZ-Motors [1]

## 2 Hochtemperatur Aufbau- und Verbindungstechnik

Die Entwicklung einer hochtemperaturfesten Aufbau- und Verbindungstechnik wurde im Rahmen dieser Arbeit unternommen. Untersucht wurden

geeignete Substrate aus diversen Keramiken, Chipmontageoptionen mit Glasloten, Keramikklebstoffen, und Silbersintern. Des Weiteren wurden Möglichkeiten zur elektrischen Kontaktierung mittels Titandickdrahtbondens sowie Flipchipbondens mit speziell entwickelten Mikrobumpmaterialien erprobt. Abschließend wurde eine hermetische Verkapselung der Chips entwickelt. Im Ergebnis stehen mehrere hochtemperaturfeste Aufbautechnologien zur Verfügung (Abb. 2).



**Abb. 2** Hochtemperaturfeste Aufbautechnologie auf Keramikbasis mit Flipchipbonden

## 3 Verformungsmessung bei hohen Temperaturen

Für die Verifikation der beschriebenen Aufbautechnologien sind Form- und Dehnungsmessungen an den Aufbauten bei der gewünschten Zieltemperatur von über 500 °C erforderlich. Hierfür wurden mit der Elektronischen-Speckelmuster-Interferometrie (ESPI) und der Digitalen-Grauwertkorrelation (DIC) zwei etablierte Messverfahren eingesetzt (Abb. 3).

Bei den hohen Temperaturen entstehen über der heißen Oberfläche des Messobjekts störende Luft-

strömungen und inhomogene Brechungsindizes der Luft. Aus diesem Grund wurde eine Vakuumkammer entwickelt, die alle Hochtemperaturelemente wie Heizplatte und das Messobjekt enthält. Die Messung findet durch ein optisches Fenster statt.

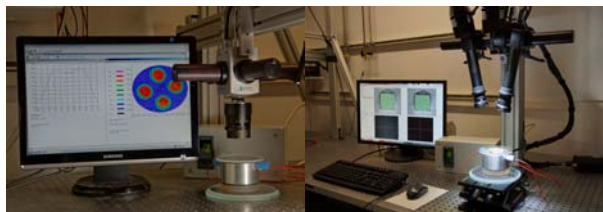


Abb. 3 Messaufbau mit ESPI (links) und DIC (rechts).

Um zu gewährleisten, dass keine Verformung durch das Heizelement oder die Kammer selbst entstehen, wurde der in Abb. 4 gezeigte Aufbau aus Zerodur gewählt. Zerodur besitzt einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von  $0 \pm 0,02 \cdot 10^{-6}$  ppm/K [2]. Somit kann die thermische Ausdehnung der Konstruktion als vernachlässigbar angesehen werden. Das Heizelement ist so aufgehängt, dass die thermische Ausdehnung nach unten stattfindet und somit die Oberflächenposition über die Temperatur als konstant gelten kann.

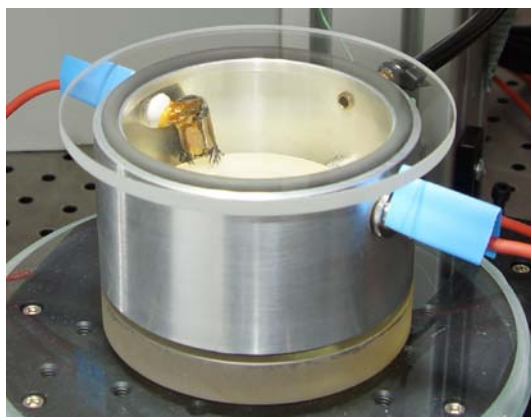


Abb. 4 Vakuumkammer für die Hochtemperaturmessung

#### 4 Vergleich von Simulation und Messergebnissen bei unterschiedlichen Messprinzipien

Die Hauptaufgabe von Form und Dehnungsmessungen liegt in der unmittelbaren Verifikation der Aufbau- und Verbindungstechnik hinsichtlich der Hochtemperaturstabilität. Des Weiteren ist es hiermit möglich FE-Simulationsmodelle auf Korrektheit zu prüfen. In FE-Modellen müssen Randbedingungen oft angenommen werden und Materialdaten stehen für den gewünschten Temperaturbereich nicht immer in ausreichender Güte zur Verfügung. Dadurch ist der Vergleich von Simulationsergebnissen mit Messungen am realen Bauteil unerlässlich.

Das Vorgehen hierbei ist in den Abbildungen 5 und 6 am Beispiel eines mittels keramischen Klebstoffs

auf einem Keramiksubstrat montierten Chips gezeigt. Zusehen sind das reale Bauteil und die mittels FE-Modell simulierte Dehnung nach der Chipmontage (Abb. 5). Die jeweiligen Ergebnisse von Messungen mittels ESPI und DIC (Abb. 6) werden in Abb. 6 gegeben. Bei den Untersuchungen war die thermische Dehnung des Chips im Temperaturbereich von 25 °C bis zu 500 °C von Interesse.

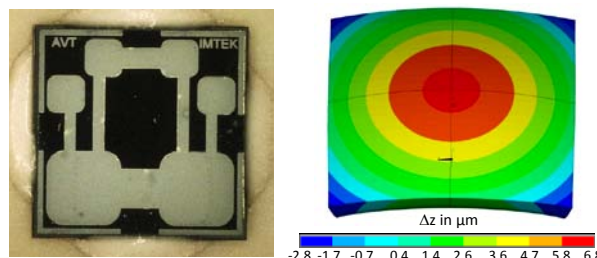


Abb. 5 Substratträger mit montiertem Chip (links) und Ergebnis der Dehnung nach der Chipmontage aus der FE-Simulation (rechts)

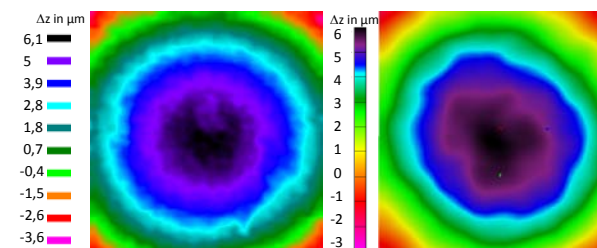


Abb. 6 Vergleich von Dehnungsmessung mittels ESPI (links) und DIC (rechts)

Durch die gezeigten Messungen konnte die Übereinstimmung der durch Simulation ermittelten Verformungen mit der tatsächlich Vorhandenen nachgewiesen werden. Ein so verifiziertes FE-Modell ist dazu geeignet Fragestellungen zu beantworten, die nicht durch Messung zugänglich sind, beispielsweise lassen sich so Spannungszustände in Grenzschichten zwischen etwa zwischen Keramikklebstoff und Substratmaterial oder Chip ermitteln. Diese wiederum bilden die Basis für weiterführende Aussagen bezüglich der zu erwartenden Zuverlässigkeit im Einsatz der Aufbau- und Verbindungstechnik.

#### 5 Danksagung

Ein besonderer Dank der Autoren gilt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und der Baden-Württemberg Stiftung, deren Finanzierung der Projekte diese Arbeit ermöglicht.

#### Literatur

[1] Robert Bosch GmbH 2013  
 [2] Zerodur Datenblatt der Schott AG: [http://www.schott.com/austria/german/download/zerodur\\_katalog\\_deutsch\\_2004.pdf](http://www.schott.com/austria/german/download/zerodur_katalog_deutsch_2004.pdf), Abruf 12.07.2013