

# Elektronische Speckle-Muster-Interferometrie Verformungsmessung

Schnell, bildgebend und nanometergenau

*Elektronische Hochleistungs-komponenten werden thermisch und mechanisch stark beansprucht. Ein optisches System misst minimale Verformungen in der Linie.*

Moderne elektronische Komponenten mit hohen Leistungsdichten erwärmen sich im Betrieb stark. Dies führt zu mechanischen Spannungen und damit zu Verformungen der Bauteile. Ein optisches Messsystem auf Basis Elektronischer Speckle-Muster-Interferometrie (ESPI) misst minimale Änderungen der Bauteil-Topographie schnell, bildgebend und bis in den Nanometerbereich – auch direkt in der Fertigungslinie.

## Ortsaufgelöste, hochgenaue Oberflächenmessung

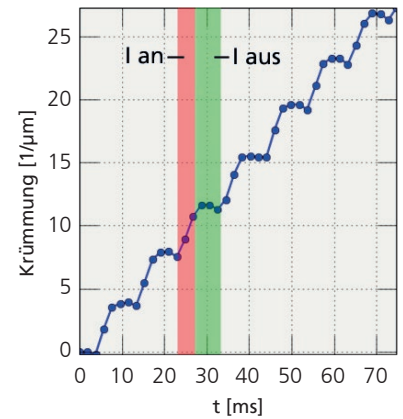
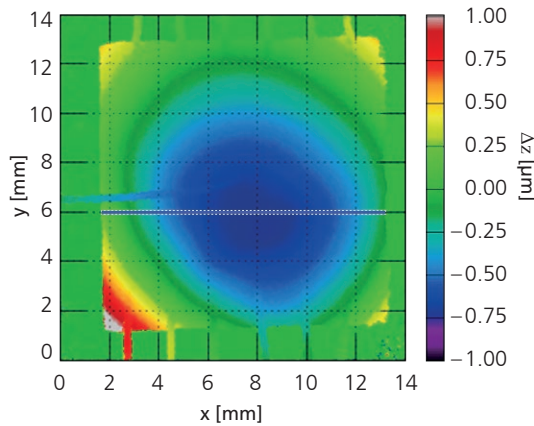
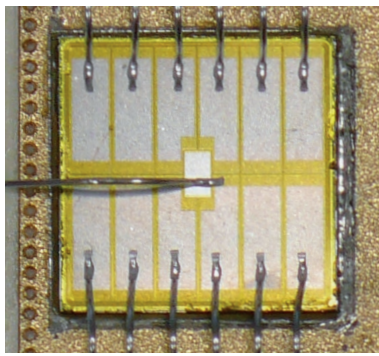
Schnelle Schaltvorgänge und Lastwechsel können bei elektronischen Komponenten räumlich und zeitlich begrenzt mechanische Belastungsspitzen verursachen, die zu Mikrorissen oder Verbindungsbrüchen führen. Dies ist eine der Hauptursachen für den vorzeitigen Ausfall von Bauteilen. Bisherige Fehleranalysemethoden bestimmen die mechanische Belastung der Bauteile indirekt über die Messung der Wärmeverteilung. Die direkte Messung mechanischer Verformungen liefert jedoch wichtige Daten zur Vermeidung von Defekten und damit vorzeitigen Ausfällen.

Das ESPI-System von Fraunhofer IPM misst Mikrodeformationen auf der Bauteiloberfläche,

z. B. unter mechanischer oder thermischer Belastung, auch bei schnellen Betriebsänderungen der elektrischen Komponenten. Das Verfahren eignet sich zur Kontrolle kritischer Produktionsschritte, liefert aber auch wichtige Informationen für die Bauteilentwicklung, das Leiterplattendesign und die Prozessentwicklung: So kann beispielsweise nach dem Löt- oder Bonding-Prozess der Verzug der elektrischen Komponente unter Betriebsbedingungen mit Genauigkeiten von unter 30 Nanometern gemessen werden. Die Dynamik des Verzugs im Millisekundenbereich zu erkennen und zu verstehen, ist essentiell, um kurzzeitige oder lokale Überbeanspruchung von Bauteilen im späteren Betrieb zu verhindern. Nur so lassen sich gleichbleibende Produktqualität und lange Lebensdauer trotz hoher Bauteilbeanspruchung gewährleisten.

## Elektronische Speckle-Muster-Interferometrie ESPI

Beim ESPI-Verfahren wird ein aufgeweiteter Laserstrahl auf die Bauteiloberfläche gelenkt. Dabei entsteht ein Speckle-Muster. Durch Verspannungen und Bewegungen in der Oberfläche des Bauteils um Bruchteile der Wellenlänge verändert sich dieses Speckle-Muster. Spezielle Computer-Algorithmen ermöglichen eine quantitative Bestimmung der Oberflächendeformationen mit hoher Geschwindigkeit und Genauigkeit.



*Verformung eines Leistungstransistors: Links: Leistungstransistor (11 × 11 mm<sup>2</sup>). Mitte: orts aufgelöste Messung des Transistors im Betrieb; Verformung durch die elektrische Verlustleistung. Rechts: zeitlicher Verlauf der gemessenen Krümmung entlang des Profils; dynamische Änderung der Wölbung im Pulsbetrieb (3 A, 50 Hz); dargestellt sind die ersten sieben Pulse nach dem Einschalten.*

## Hochgenaue Form- und Dehnungsmessung für präzisere Simulationen

Verformungen durch mechanische Spannungen können zu irreversiblen Deformationen oder – bei zyklischem Auftreten – zum strukturellen Versagen des Bauteils führen; als Folge entstehen Risse oder Brüche. Die Herausforderung bei der Gestaltung elektrischer Komponenten oder Leiterplatten besteht darin, nicht nur die einzelnen Komponenten zu designen, sondern auch die Zuverlässigkeit des gesamten elektronischen Systems sicherzustellen.

Simulationswerkzeuge unterstützen dabei, benötigen jedoch präzise orts- und zeitaufgelöste Eingangsdaten. Neben der stationären spielt auch die dynamische Verformung, etwa bei Schaltvorgängen, eine wichtige Rolle. Dies erfordert Werkzeuge zur flächenhaften Verformungs- und Dehnungsmessung mit hinreichender Orts- und Zeitauflösung. Durch Messung von Deformationen im Nanometerbereich kann die mechanische Belastung bereits erkannt werden, lange bevor es zum Ausfall kommt.

## Verformungen horizontal und vertikal zur Oberfläche messbar

Klassische ESPI-Verfahren nutzen zeitliche Phasenschiebe-Verfahren. Dabei wird zur Erfassung des aktuellen Verformungszustands eine Folge von Kamerabildern aufgenommen, was das Verfahren sehr vibrationsempfindlich macht. Das ESPI-System von Fraunhofer IPM setzt ein angepasstes räumliches Phasenschiebe-Verfahren ein, das alle nötigen Informationen aus einem einzigen Kamerabild gewinnt. Dadurch ist es sehr schnell und robust.

Das System kombiniert ESPI mit High-Speed-Speckle-Korrelation, wodurch Dehnungen in allen Raumrichtungen hochgenau gemessen werden können: 1000 Mal pro Sekunde – mit einer Auflösung von mehr als einer Million Bildpunkten. Oberflächenverformungen werden mit einer Genauigkeit von unter 30 Nanometern erfasst. Dies reicht aus, um Verformungen, wie sie z. B. bei Leistungstransistoren, integrierten Schaltkreisen oder Leuchtdioden auftreten, in Echtzeit zu messen und auszuwerten. Durch eine Reduktion der Auflösung lassen sich noch höhere Messfrequenzen erreichen, sodass bei kleinerem Messfeld selbst Hochfrequenzkomponenten auf ihre mechanische Belastung untersucht werden können.

### Kontakt

Dr. Alexander Bertz  
Gruppenleiter Geometrische Inline-Messsysteme  
Telefon +49 761 8857-362  
alexander.bertz@ipm.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM  
Georges-Köhler-Allee 301  
79110 Freiburg  
www.ipm.fraunhofer.de

