

Wolfram Dötzel,
Regina Döhler, Jan Mehner,
Chemnitz-Zwickau

Entwurf mechanischer Mikrosysteme

Teil 1 – Simulation und Optimierung

Von der Gestaltung der mechanischen Komponenten eines Mikrosystems hängen sowohl die Funktion und die Lebensdauer des Systems als auch Eigenschaften wie Genauigkeit, Grenzfrequenz, Störgrößenunempfindlichkeit und nicht zuletzt die Kosten ab. Die Suche nach einem optimalen System wird in Zukunft als iterativer Prozeß durch Simulationsverfahren auf verschiedenen Ebenen erfolgen. Wie sich dies praktisch umsetzen läßt, schildert dieser Beitrag.

Design of mechanical microsystems. Part 1: Simulation and optimisation. On the designing of the mechanical components of a microsystem depends not only the functions and the service life of the system but also properties such as precision, cross-over frequency, insensitivity to disturbance, and, not least, the costs. In future, the search for an optimal system will be undertaken as an iterative process by simulation methods at various levels. How this can be realised in practice is shown in this article.

Der Ablauf der Mikromechanik-Simulation läßt sich mit dem in Bild 1 dargestellten Schema umreißen. Ausgehend von einer vorliegenden Spezifikation entsteht auf der Basis des Wissens, der Erfahrungen und Ideen des Komponentenentwicklers zunächst ein Grobentwurf. Zur Vereinfachung dieser Grobentwurfsphase kann eine Wissensbasis genutzt werden (Schritt 1). Sie enthält mikromechanische Grundelemente und deren Kenngrößen als Ergebnis einer analytischen Beschreibung mit vereinfachenden Annahmen.

Soll die Mikromechanik-Komponente durch Siliziumätzen hergestellt werden, ist ein weiterer Schritt notwendig: Die Erstellung der Masken (Schritt 2). Die ursprünglichen Geometriedaten sind entsprechend den Erfordernissen des Ätzprozesses zu modifizieren. Mit den korrigierten Geometriedaten kann ein Technologiesimulator (Schritt 3) durchlaufen werden, der als Vorab-Ergebnis ein 3D-Modell der geätzten Struktur liefert.

Mit diesem Modell als Eingangsgröße erfolgt der Feinentwurf mit numerischen Methoden (Schritt 4). Die verfeinerte Geometrie wird mit Hilfe von FEM-Berechnungen analysiert, wo-

bei die Modellvereinfachungen von Schritt 1 entfallen. Es sind insbesondere gekoppelte Feldberechnungen durchzuführen, um elektromechanische Wechselwirkungen, Temperatur- oder Dämpfungseinflüsse zu erfassen. In die Feinentwurfsphase kann eine On-line-Simulation einbezogen werden. Die Ergebnisse der FEM-Berechnungen werden zum Zwecke der Simulation des Gesamtsystems an einen Analogsimulator weitergegeben (Schritt 5).

Die Abarbeitung der einzelnen Schritte erfolgt nicht streng geradeaus in der dargestellten Reihenfolge. In Abhängigkeit von den erreichten Zwischenergebnissen sind zu jeder Zeit Rücksprünge in einen vorangegangenen Bearbeitungsschritt möglich, so daß der Prozeß in iterativen Schleifen und im Normalfall mehrmals durchlaufen wird.

Das Schema zeichnet sich dadurch aus, daß die entstehenden Daten durchgängig durch alle Prozessschritte genutzt werden können. Es stellt eine Zielvorstellung dar. Sowohl innerhalb der einzelnen Schritte als auch an den Übergabestellen besteht noch Entwicklungsbedarf. Die nachfolgenden Ausführungen beschreiben den derzeitigen

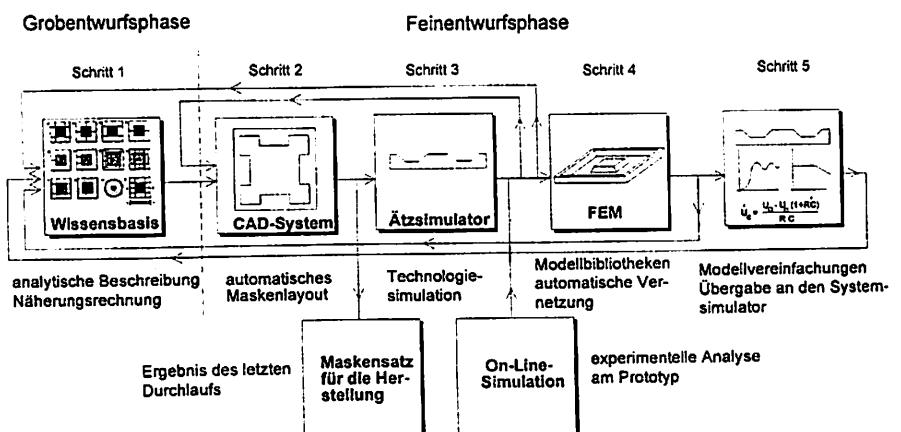
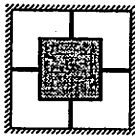


Bild 1. Der Ablauf der Mikromechanik-Simulation erfolgt am günstigsten nach einem reproduzierbaren Schema

Berechnungsbeispiel für das Grundelement Kreuzfederwandler [2]



Geometrische Hilfsgrößen:

- d .. Länge Federbänder
- b .. Halbe Länge der seismischen Masse

Steifigkeit in Nutzrichtung: $C_{Nutz} = \frac{48EI_z}{d^3}$

Steifigkeit in Querrichtung: $C_{Quer} = \frac{24EI_z}{d^3} + \frac{2EA}{d}$

Eigenfrequenz bei Translation in z-Richtung: $f_{transz} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{C_{Nutz}}{m}}$

Eigenfrequenzen bei Rotation (rotx, roty): $f_{rotx, roty} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{2(C_{\phi x} + C_{\phi y})}{J}}$

mit den Rotationssteifigkeiten $C_{\phi x} = \frac{Gk}{d}$ und $C_{\phi y} = \frac{1}{D - \frac{b^2}{H}}$

wobei $H = \frac{d^3}{3EI} + \frac{d^2b}{EI} + \frac{db^2}{EI}$, $B = \frac{d^2}{2EI} + \frac{db}{EI}$ und $D = \frac{d}{H}$

Auslenkung: $v = \frac{F_z \cdot d^3}{48EI}$

Spannung an der Einspannstelle: $\sigma_b = \frac{F_z \cdot d}{8W_b}$

Dabei sind: W_b Widerstandsmoment gegen Biegung
 I_y, I_z Flächenträgheitsmoment eines Balkens
 E Elastizitätsmodul
 A Fläche
 G Gleitmodul
 I_t Torsionsträgheitsmoment eines Balkens
 m Masse
 J Massenträgheitsmoment eines Balkens
 F_z Kraft in z-Richtung.

Entwicklungsstand und verdeutlichen die »weißen Stellen«.

Möglichkeiten und Grenzen der analytischen Beschreibung

Die mechanische Komponente von Mikrosystemen besteht häufig aus einem schwingfähigen Feder-Masse-Dämpfer-System. Zur Vereinfachung des Grobentwurfs wurde an der TU Chemnitz-Zwickau ein Programm geschaffen, das es erlaubt, die mechanischen Kenngrößen für einen definierten Katalog von mikromechanischen Grundelementen zu berechnen. Die Ergebnisse können dazu dienen, verschiedene Komponenten schnell miteinander zu vergleichen, ihre geometrischen Eigenschaften zu variieren und zu optimieren, ohne aufwendige FEM-Routinen anwenden zu müssen.

Die mit Hilfe des Programms erstellte Bibliothek von Grundelementen stellt einen ersten Ansatz dar, wie auf dem Gebiet der Mikromechanik eine Wissensbasis bisher bekannter und erprobter Elemente für den Grobentwurf aussehen könnte.

Für geometrisch einfache Grundelemente mechanischer Schwingssysteme

ist es möglich, analytische Lösungen für die Berechnung des mechanischen Verhaltens anzugeben. Bild 2 zeigt Beispiele. Das innere Quadrat stellt den Massekörper dar, der unter der Wirkung einer Kraft F in die Blattebene hinein abgelenkt wird. Das äußere Quadrat entspricht der Innenseite des Siliziumrahmens. Die einzelnen Elemente unterscheiden sich durch die Gestaltung des Federsystems.

Das Programm ermittelt je nach Federgeometrie und Materialeigenschaften die Federsteifigkeit in Nutz- und in Querrichtung, die Eigenfrequenz in Nutzrichtung und bis zu fünf höhere Eigenfrequenzen. Als weitere Parameter erhält der Anwender die Auslenkung bei einer vorgegebenen Belastung und die von der auftretenden Auslenkung abhängige mechanische Spannung an der Einspannstelle.

Bild 3 zeigt die grafische Benutzeroberfläche des Programms [1]. Die Ergebnisse sind ausreichend genau für einen schnellen Vergleich verschiedener Grundelemente und eine Vorausberechnung von Kenngrößen in der Grobentwurfsphase. Zur genaueren Parameterbestimmung sowie in der Feinentwurfsphase sind Kontinuumsmodelle unumgänglich.

Simulation durch Expertenwissen

Die Technologie des Siliziumätzens erfordert eine Modifikation der Geometriedaten des Grobentwurfs. Um nach dem Ätzprozeß ein Element der gewünschten Gestalt zu erhalten, müssen beispielsweise Maßnahmen zur Eckenkompensation getroffen werden, der Platzbedarf der Struktur ist zu überprüfen. Bereits in diesem Prozeß – der noch in der Grobentwurfsphase liegt – ist kristallografisches und technologisches Expertenwissen gefragt.

An der TU Chemnitz-Zwickau wird derzeit daran gearbeitet, dieses Wissen in ein rechnerunterstütztes Entwurfssystem zur Erstellung eines korrigierten Maskenlayouts einzubringen. Es existiert bereits ein Katalog entsprechender Berechnungsalgorithmen. Das Ziel der Arbeiten ist das Einbinden dieser Algorithmen in eine Software, mit der der Entwerfer interaktiv arbeitet. Der in Bild 1 verwendete Begriff »automatisches Maskenlayout« stellt in diesem Sinne ein Fernziel dar.

Ein weiteres Problem ist die Simulation des Ätzprozesses selbst. Mikromechanische Komponenten sind dreidimensional (wie Membranen, Federelemente, Zungen oder Stege). Im Herstellungsprozeß werden diese Strukturen zunächst als zweidimensionale Maske mittels Lithografie auf die Siliziumscheibe übertragen. Der Technologiesimulator hat die Aufgabe, den Prozeß des Ätzens zu simulieren mit dem Ziel, die Geometrie der resultierenden 3D-Struktur vorherzusagen [3].

Das Ätzsimulationsprogramm SIMODE 2.0 – eine Entwicklung der TU Chemnitz-Zwickau – existiert derzeit als Laborversion und ist auf einem PC unter DOS lauffähig. Es wird an der Markteinführung und Verbesserung des Programms gearbeitet, die auch die Konvertierung des internen Datenformats in ein ANSYS-Eingabeformat einschließt. Damit wird der Weg zur Weiterverarbeitung der 3D-Daten im Feinentwurf geebnet.

Günstige Materialeigenschaften

Eine wesentliche Voraussetzung zur Berechnung des mechanischen Verhaltens von Mikrostrukturen ist die Kenntnis der Eigenschaften der verwendeten Materialien. Einkristallines Silizium als Basismaterial ist aus der Mikroelektronik in höchster Reinheit und kristalliner Perfektion verfügbar. Das bietet

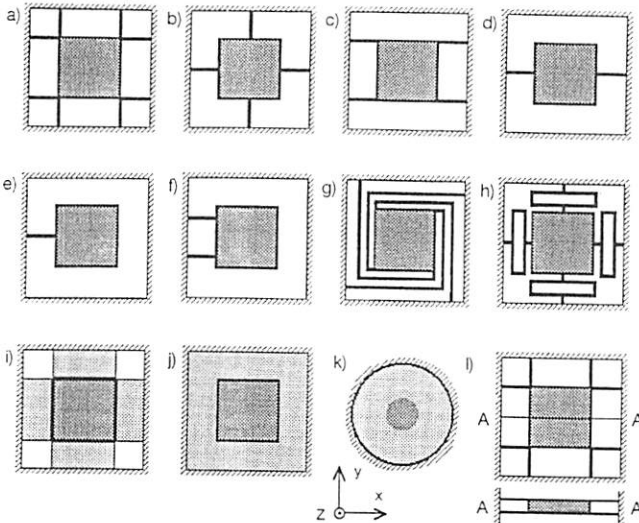


Bild 2. Grundformen mechanischer Schwingssysteme bilden die Basis für den Entwurf und die Simulation

die Gewähr für reproduzierbare mechanische Eigenschaften und eine gute Strukturierbarkeit.

Silizium verhält sich bei Temperaturen unter 600 °C streng linear-elastisch. Das Spannungs-Dehnungs-Verhalten wird vollständig durch die allgemeine Hooksche Matrix bestimmt. Aus dieser Matrix lassen sich durch Tensortransformationen die E-Moduln in den verschiedenen Richtungen und die Gleitmoduln herleiten. Der E-Modul schwankt bei Silizium je nach Orientierung zwischen 130 und 188 GPa.

$$c_{110} = \begin{pmatrix} 194 & 35.2 & 63.9 & 0 & 0 & 0 \\ 35.2 & 194 & 63.9 & 0 & 0 & 0 \\ 63.9 & 63.9 & 165 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 79.6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 79.6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 50.9 \end{pmatrix}$$

$$\begin{array}{lll} E_X = 169 & \text{NU}_{XY} = .062 & G_{XY} = 50.9 \\ E_Y = 169 & \text{NU}_{XZ} = .278 & G_{XZ} = 79.6 \\ E_Z = 130 & \text{NU}_{YZ} = .278 & G_{YZ} = 79.6 \end{array}$$

E – E-Modul, G – Gleitmodul, NU – Poissonverhältnis (alle Angaben in GPa)

Die Orientierungsabhängigkeit der elastischen Kenngrößen von Silizium bereitet im Entwurf keine Probleme. Bei Torsion anisotroper Balken ist jedoch zu beachten, daß die Materialkonstante »mittlerer Gleitmodul« anisotroper Balken sowohl von deren Orientierung als auch vom Querschnittsverhältnis abhängig ist. Die Bestimmung dieser Konstante erfolgt analytisch oder numerisch durch Lösen einer 2D-Poissongleichung.

Die elastischen- und Bruchkennwerte von Silizium sind außerdem stark durch die Prozesse der Herstellung beeinflussbar:

- durch Dotierung ändert sich die chemische Zusammensetzung,
- durch technologische Prozesse entstehen Kristalldefekte (Gitterfehler),
- technologisch bedingte Oberflächen-defekte sind schwer charakterisierbar (Risse),
- an den Trennflächen zu anderen Materialien ändert sich die Materialzusammensetzung (Diffusion).

Schwieriger ist die Berechnung von Lotverbindungen, Glas- oder Metallschichten. Diese zeigen meist plastisches oder viskoses Materialverhalten (Bild 4). Eine effektive Berechnung kann für solche Mikrosysteme nur noch mit FEM erfolgen [4].

Numerische Methoden in der Mikromechanik-Simulation

Das mechanische Verhalten von Volumenköpern (Kontinua) wird durch partielle Differentialgleichungen (Randwertaufgaben) beschrieben. Diese kön-

nen für komplexe Geometrien oder Belastungen nur noch numerisch gelöst werden. Meist wird dazu die Finite-Elemente-Methode (FEM) verwendet. Der Vorteil gegenüber der Finiten-Differenzen-Methode (FDM) besteht vor allem in der Möglichkeit lokaler Netzverfeinerungen (effektivere Berechnung), gegenüber der Randelementmethode (BEM) in der universelleren Einsetzbarkeit: FEM besitzt für flache Strukturen Schalelemente; Feldkopplungen sind möglich. Unter den kommerziellen FE-Systemen (Nastran, Abaqus, Adina, Mark, und andere) hat Ansys eine besondere Bedeutung in der Mikrosystemtechnik, weil durch die komfortablen Pre- und Postprozessoren eine anwenderfreundliche Programmierung von Koppelwirkungen ermöglicht wird. Anwenderprogramme können in Ansys auf leistungsfähige Routinen (3D-transiente nichtlineare mechanische Analysen, 3D-transiente Magnetfelder) aufbauen und umfangreiche Vektoroperationen (Umlaufintegrale, Hüllenintegrale) verwenden [5].

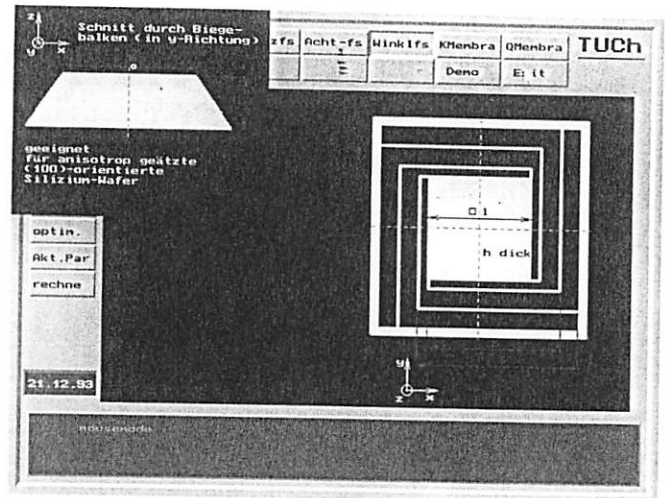


Bild 3. Die Benutzeroberfläche des analytischen Entwurfssystems zeigt die Ergebnisse der Vorausberechnung von Kenngrößen in hinreichender Genauigkeit

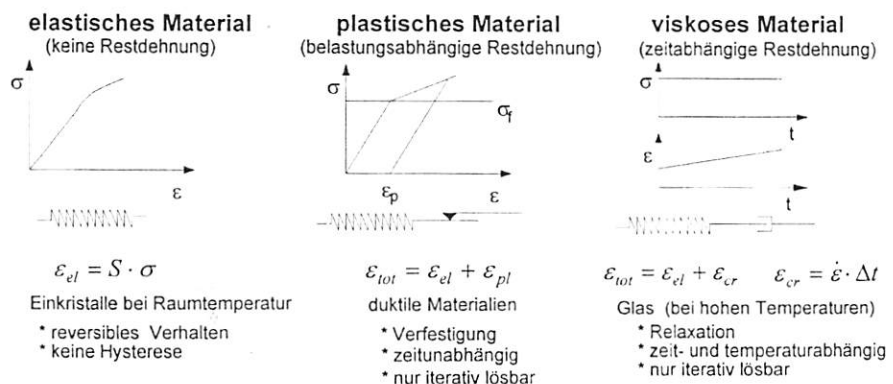


Bild 4. Bei Materialien mit plastischem oder viskosen Verhalten empfiehlt sich die Anwendung der FEM

FEM überführt das gegebene partielle Differentialgleichungssystem in ein lineares Gleichungssystem (bei linearen statischen Problemen) oder in ein Matrizendifferentialgleichungssystem zweiter Ordnung (bei transienten Analysen). Als Ergebnis liegen die Verschiebungen und Spannungen in jedem beliebigen Punkt der Struktur vor. Für die Bearbeitung mikromechanischer Strukturen erweisen sich die verfügbaren Netzgeneratoren als unzureichend im Hinblick auf eine sinnvolle automatische Vernetzbarkeit. Die Netzdichte richtet sich nach den kleinsten Abmessungen der Struktur. Sind beispielsweise die Federn eines Schwingensystems sehr dünn gegenüber den Abmessungen der Masse, so wird die gesamte Struktur in unnötig viele Elemente zerlegt, was zu erhöhter Rechenzeit führt. Kontinuumsrechnungen benötigen gegenüber analytischen Verfahren eine vielfache Rechenzeit und Speicherkapazität. Sie ermöglichen jedoch eine weitaus genauere Modellbeschreibung (hervorzuheben sind die nicht zu vernachlässigenden Rahmendeformationen bei mikromechanischen Komponenten). Bei diesen numerischen Verfahren können außer isotrop-elastischen Materialien auch anisotrope oder plastische sowie auch das Kriechverhalten berücksichtigt werden.

Modellierung von Mikro-Komponenten mit FEM

Neben schwingfähigen Feder-Masse-Dämpfer Systemen sind auch Strukturen wie Schneidenlager oder Anschläge von Bedeutung. Solche Strukturen sind i.a. durch ein großes Aspektverhältnis gekennzeichnet. Prinzipiell können sie mit jedem FE-System nachgebildet werden.

Als günstig für eine effektive Erstellung dieser geometrischen Strukturen erweisen sich FE-Modellbibliotheken mit parametrisierten Geometriedaten und variablen Netzdichten. An der TU Chemnitz-Zwickau werden für die im Bild 2 dargestellten Elemente derzeit Beschreibungsfiles für das FE-System Ansys erstellt. Wichtig für derartige Modelle sind voreingestellte Netzdichten, die dem Nutzer aufwendige Konvergenzuntersuchungen ersparen.

Die Bruchbelastbarkeit spielt sowohl bei beweglichen als auch bei unbeweglichen Mikrosystemen (Rißbildung an Lötstellen) eine große Rolle. Eine genaue Vorausberechnung der Versagensbelastung ist sehr kompliziert. Oftmals

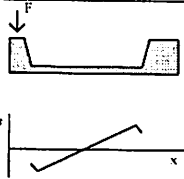

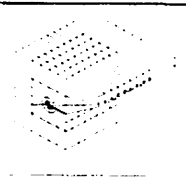
Vergleichsspannung	Kerbspannung	Rißspannung
Vergleichsspannung ist bruchauslösend	Spannungskonzentrationen in Kerben sind bruchauslösend	Spannungskonzentrationen in Mikrorissen sind bruchauslösend
Normalspannungshypothese: $\sigma_1 < R_m$	$\sigma_k = a_k \cdot \sigma_n < R_m$ $a_k = 1 + \sqrt{0,5 \frac{r_k}{\rho} - 1} \cdot \sqrt{\frac{r_k}{\rho} \left(1 - 2 \frac{r_k}{\rho} \right)}$	Irwin Kriterium $\sigma_s \sqrt{\pi a} = K_{IC} < K_{IC}$
		
• lokale Effekte (Kerben, Schädigungen) und Größeneinflüsse ($R_m = f(\text{Dim.})$) werden nicht berücksichtigt	• Kerbradius an Spitzkerben ist unbekannt • technologiebedingte Schädigungen werden nicht berücksichtigt	• technologiebedingte Schädigungen (Rauheit, Kratzer, Oberflächenrisse) sind kaum erforscht

Bild 5. Die Verfahren der Vergleichs-, Korb- und Rißspannungsermittlung helfen bei der Abschätzung der Bruchbelastbarkeit von Mikrosystemen

gelingt dies nur in Verbindung mit experimentellen Untersuchungen (On-Line-Simulation). Wichtige Verfahren zur Abschätzung der Bruchbelastbarkeit sind in Bild 5 dargestellt.

Zum Bruch- und Ermüdungsverhalten von Mikromechanik-Komponenten sind noch umfangreiche Grundlagenuntersuchungen notwendig.

Sensitivitätsanalyse und Geometrieoptimierung

Nachdem die Geometrie der mechanischen Komponente bestimmt wurde, ist eine Sensitivitätsanalyse nötig. Dabei wird der Einfluß von Toleranzen, Materialeigenschaften, Geometrie, Technologie, Montage und Umgebungsbedingungen auf die Ausgangsgröße untersucht. Läßt sich ein analytischer Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgangsgröße finden, können diese Auswirkungen exakt mathematisch beschrieben werden. So hat beispielsweise die relative Sensitivität der Auslenkung eines einseitig eingespannten

Balkens bezüglich seiner Dicke den Wert -3.

Problematisch ist eine Sensitivitätsanalyse, wenn die Eingangsgrößen nur unscharf beschrieben werden können oder kein analytischer Zusammenhang gefunden wurde. Hier sollten Berechnungsverfahren wie die stochastische FEM angewendet werden.

Kleine Änderungen von geometrischen Abmessungen können einen qualitativen Umschwung im mechanischen Verhalten ergeben. So ändern sich beispielsweise die Kippachsen der zweiten Eigenschwingform von Membranstrukturen je nach Ausbildung der ätzzeitabhängigen Ecken an der seismischen Masse (Bild 6).

Die Ursache dafür ist die Unabhängigkeit des Massenträgheitsmomentes von der Drehachse bei quadratischen Massekörpern und dazugehörige ähnliche Federsteifigkeiten. Das zu schaffende Entwurfssystem sollte auf solche Probleme hinweisen und Lösungsmöglichkeiten anbieten. Dieser Effekt tritt beispielsweise bei rechteckigen Massekörpern nicht auf.

Eine Geometrieoptimierung bei sehr vielen Designvariablen ist mit FEM aufwendig. Günstiger hierfür sind parameterfreie Optimierungsverfahren nach der Theorie der Beanspruchungsminimierung. Diese Verfahren gehen davon aus, daß in Bereichen hoher Materialbeanspruchung eine Materialzugabe nötig wäre, in wenig beanspruchten Gebieten Material abgetragen werden kann (Bild 7).

Mikrosysteme können als Arraystrukturen ausgeführt werden. Eine Modellierung dieser komplexen Systeme mit FEM führt zu extremen Rechenzeiten. Andererseits ist eine Betrachtung eines einzelnen Elements nicht immer aussagekräftig, da es im

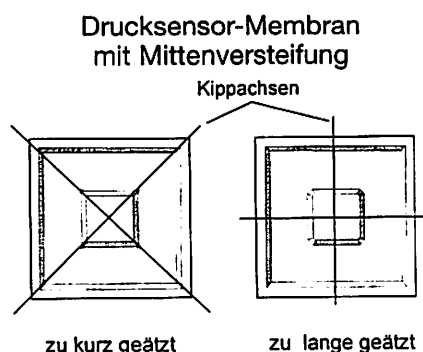


Bild 6. Wird die Ätzzeit nicht korrekt eingehalten, kann dies signifikante Auswirkungen auf das mechanische Verhalten haben

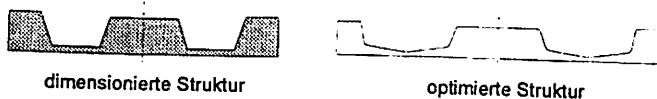


Bild 7. Durch Verfahren der Beanspruchungsminimierung kann die Stabilität des Systems bei gleichem Materialeinsatz optimiert werden

Arrayverbund wesentlich andere Eigenschaften zeigen kann. Für die Simulation solcher Strukturen müssen Symmetrie-Randbedingungen und Substrukturtechniken ausgenutzt werden. Diese Verfahren verkürzen die Simulationszeit erheblich.

Literatur

1. A. Hoffmann: Implementation eines analytischen Entwurfssystems in Turbopascal Diplomarbeit, TU Chemnitz-Zwickau 1993
2. J. Mehner, Döhler, R.: Beschreibung wesentlicher mikromechanischer Grundelemente bezüglich ihres mechanischen Verhaltens als Basiswissen für ein rechnergestütztes Entwurfssystem Interner Bericht, TU Chemnitz-Zwickau 1993
3. J. Frühauf u.a.: A Simulation Tool for Orientation Dependent Etching, Journal of Micromechanics and Microengineering Vol. 3, 1993, p. 113-115
4. W. Dötzel, Mehner, J., Döhler, R.: Mikromechanische Grundelemente und deren Beschreibung im Mikrosystementwurf, Vortrag zum Statusseminar »Untersuchung zum Entwurf von Mikrosystemen«, Förderkennzeichen 13 MV 0156, Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie Berlin 16.11.1993
5. J. Mehner: Simulation des mechanischen Verhaltens kinetischer Sensoren und Aktoren mittels FEM VDI-Bericht 960, Bd. 1, S. 43-63, Chemnitz 1992
6. J. Mehner: Mechanische Beanspruchungsanalyse von Siliziumsensoren und -aktoren unter dem Einfluß von elektrostatischen und Temperaturfeldern, Dissertation TU Chemnitz-Zwickau 1993
7. J. Mehner: Simulation eines mikromechanischen Torsionsaktors Ansys user's meeting, Arolsen 1992
8. S. Kurth: Beweglichen mikromechanischen Elementen auf der Spur, F&M 102 (1994), 11-12, S. 609-613
9. W. Dötzel, Mehner, J., Döhler, R.: Mikromechanik-Komponenten und deren Beschreibung im Mikrosystementwurf

Reihe: Innovationen in der Mikrosystemtechnik, Band 14 Seite 97-106, 1994, VDI/VDE-Technologiezentrum Informationstechnik

10. W. Dötzel, Mehner, J., Analyse und Simulation für mechanische Mikrosysteme Reihe: Innovationen in der Mikrosystemtechnik, Band 19 R.Döhler Seite 87-100, 1994, VDI/VDE-Technologiezentrum Informationstechnik

Die Autoren dieses Beitrags

Prof. Dr.-Ing. Wolfram Dötzel, (53), ist Inhaber des Lehrstuhls für Mikrosystem- und Gerätetechnik an der TU Chemnitz-Zwickau. Er studierte Elektrotechnik an der TU Dresden und promovierte 1971 an der TU Chemnitz. Die Forschung am Lehrstuhl ist auf die Mikrosystemtechnik und deren Applikation in der Gerätetechnik ausgerichtet.

Dr.-Ing. Regina Döhler, (45), ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Mikrosystem- und Gerätetechnik der TU Chemnitz-Zwickau. Sie studierte Elektrotechnik an der TU Dresden und promovierte 1977 an der TU Chemnitz.

Dr.-Ing. Jan Mehner, (30), ist wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Mikrosystem- und Gerätetechnik der TU Chemnitz-Zwickau. Er studierte Elektrotechnik an der TU Chemnitz und promovierte 1994 über mikromechanische Sensoren und Aktoren.

(10586)

Verdrahtungsfreier Nadelbett-Adapter

Als Weiterentwicklung des »Short-Wire«-Konzeptes hat die seit 10 Jahren als Testhaus für GenRad-Systeme tätige Battefeld GmbH ein neues Adapter-Konzept für GenRad-Testsysteme mit »flacher« Schnittstelle (GR2283/84/85/86/87/89) vorgestellt. Dabei wird die Wire-Wrap-Verdrahtung im Adapter durch eine beidseitig mit Hilfe von Nadeln kontaktierte Leiterplatte (zwei-, vier- oder sechslagig) ersetzt. Dieses Konzept bringe zahlreiche Vorteile: Neben der Reduzierung der Leitungslängen ermöge diese Technik einen definierten Wellenwiderstand auf allen Leitungen, woraus sich ein stark verbessertes Signal-/Übersprechverhalten ergibt. Damit paßt sich die Adapter-Technik den Anforderungen ständig steigender Taktfrequenzen an. Ferner können benötigte Zusatzschaltungen problemlos in die Leiterplatte integriert werden. Das Wireless-Konzept gewährleistet zudem eine einfache Duplizierung von Adaptern sowie kompakte Abmessungen und ein um 30 Prozent reduziertes Volumen.

Beim neuen Wireless-Adapter wird die bislang in Nadeladaptern vorhan-

dene Wire-Wrap-Verdrahtung durch ein Translator-Board (gedruckte Schaltung) ersetzt. Das Board hat auf der einen Seite Interface-Kontaktflächen zum Testsystem, auf der anderen liegen Kontaktflächen, welche genau dem Bohrbild des Prüflings entsprechen. Diese Pins haben mit Hilfe spezieller gefederter Nadeln direkten Kontakt zum Prüfling. Der Einsatz einer gedruckten Schaltung anstelle von Drahtverbindungen reduziere parasitäre Kapazitäten und Induktivitäten in einem entscheidenden Maße. Dies führe zu einer deutlich höheren Signalqualität beim Messen. Des weiteren wird durch die geographische Nadelanordnung die Verbindung zwischen Treiber/Sensoren und den Schaltungsknotenpunkten verkürzt, so daß Leitungslängen von durchschnittlich < 75 mm entstehen. Das Einbeziehen von Zusatzschaltungen, wie Pull-Up-/Pull-Down-Widerstände, Entladungswiderstände oder Steuerrelais sowie Leitungsabschlüsse für High-Speed-Digital-Signale ist während des Translator-Board-Layouts ohne großen Aufwand möglich, so daß der Adapter an spezielle Anforderun-

gen eines Prüflings angepaßt werden kann.

Zusätzlich zu den Testpunkten sind außerhalb des Prüflingsbereiches weitere Hülsen mit Verbindungen zu unbenutzten Treibern/Sensoren verfügbar. Änderungen oder das nachträgliche Einfügen von Nadeln gestalten sich daher problemlos. Aufgrund der automatischen Erstellung des Layouts sind Verdrahtungsfehler ausgeschlossen. Hochwertige Software-Werkzeuge für eine zuverlässige CAD-Anbindung zum Testsystem sowie eine qualifizierte Design-zu-Testberatung durch Battefeld vereinfachen den Designprozeß und verkürzen so die Zeit zur Marktreife.

Neben den technischen Vorteilen weist das Wireless-Adapter-Konzept auch wirtschaftliche Vorzüge auf: Es sei in jedem Fall preiswerter, wenn für Reservezwecke, unterschiedliche Linienn, verschiedene Produktionsstandorte oder Servicezwecke mehrere identische Adapter erforderlich sind. Eine höhere Wirtschaftlichkeit ergibt sich somit vor allem bei Boards mit mehr als tausend Knoten.

(37277)