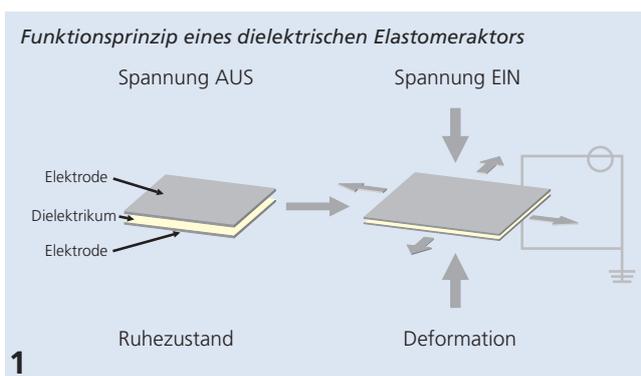




INTEGRATION VON CARBON-NANOTUBES IN SILIKONE ZUR HERSTELLUNG ELASTOMERER AKTOREN

DIE AUFGABE

Dielektrische Elastomeraktoren (DEA) sind ein sehr interessantes Materialsystem für industrielle Anwendungen und somit ein wichtiges Arbeitsfeld derzeitiger Forschungsvorhaben. Ein DEA besteht aus mindestens drei Schichten, wobei die dielektrische Schicht, welche resistent gegenüber elektrischen Durchschlägen ist, von zwei elektrisch leitfähigen Schichten, den Elektroden, bedeckt ist. Die Arbeitsweise des DEA basiert auf dem elektrostatischen Druck, welchen die geladenen Elektroden erzeugen und der das System elastisch verformt.



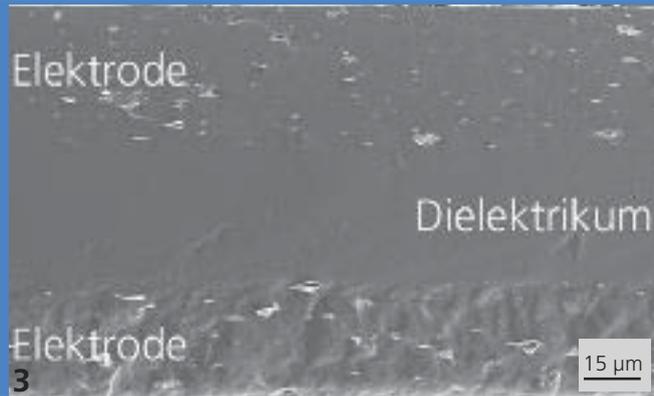
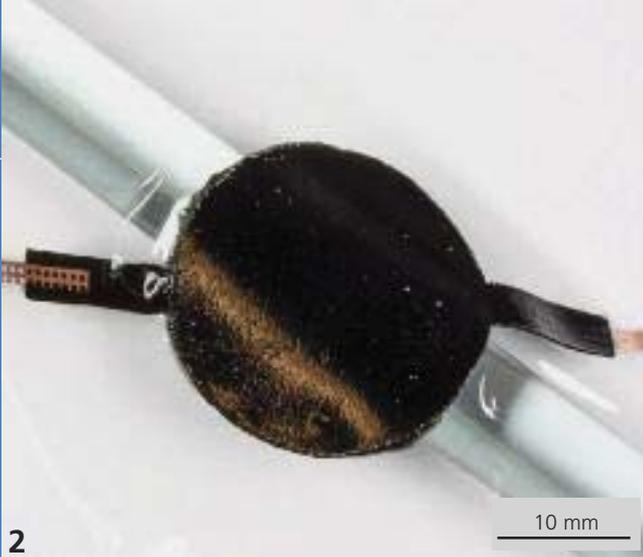
Bei den Elektroden besteht die Möglichkeit, metallische Elektroden einzusetzen, die deutlich steifer als das Dielektrikum sind und dadurch die Dehnung sowie die Lebensdauer der Aktoren reduzieren. Alternativ kann der vollpolymere Ansatz verfolgt werden, wobei ein und dasselbe Elastomer sowohl für die dielektrische als auch für die elektrische Schicht verwendet wird und die genannten Nachteile nicht auftreten. Werden die Schichten eines DEA nach dem vollpolymeren Ansatz genau aufeinander abgestimmt, können die aktorische Wirkung sowie Lebensdauer gesteigert werden.

Je nach gewünschten Schichteigenschaften ist das Elastomer deshalb mit leitfähigen oder nichtleitenden nanoskaligen Füllstoffen zu modifizieren.

UNSERE LÖSUNG

Als Material für den Aktor wurde ein zweikomponentiges, additiv vernetzendes Silikon ausgewählt. Zur Herstellung des elastomeren Elektrodenmaterials wurden Carbon-Nanotubes (CNT) integriert. Die dielektrischen Eigenschaften konnten durch den Einsatz keramischer Partikel verbessert werden. Die einzelnen Materialien für die Aktorschichten unterliegen dabei einigen Randbedingungen, die bei der Füllstoffintegration berücksichtigt werden müssen. Dazu zählen beispielsweise das Aufbrechen der Agglomerate und die homogene Verteilung der freigewordenen Partikel sowie die Steuerbarkeit der Eigenschaften der Dispersionen, der vernetzten Schicht und der Schichtverbände.

Dies wurde anhand verschiedener Prozessierungen untersucht, wofür Dispergatoren wie ein Rührwerk, ein SpeedMixer, eine Ultraschallsonotrode, ein Kalandrier und ein Hochdruckdispergator zur Verfügung standen. Die untersuchten Single-Walled-CNT (SWCNT), welche am Institut hergestellt werden, und die keramischen Partikel bedingen unterschiedliche Herangehensweisen, da die Art der Partikel, deren Agglomerationsgrad sowie deren Füllgrad einen erheblichen Einfluss auf den Prozess aufweisen. Daher wurden für die unterschiedlichen Schichten und deren Partikel sehr unterschiedliche mehrstufige Prozessabfolgen entwickelt und ein Optimum ermittelt. Im Ergebnis wurden langzeitstabile und reproduzierbare Dispersionen geschaffen, die zu Einzelschichten, Schichtverbänden bis hin zu Multischichtaufbauten verarbeitet wurden.



Die genaue Materialkenntnis wurde mit Hilfe zahlreicher Charakterisierungen der Einzelschichten sowie Schichtverbänden gewonnen und der weiteren Optimierung zugeführt. Dabei war die enge Verknüpfung der Dispersionsherstellung und -charakterisierung mit der Entwicklung der Herstellungstechnologie und Schichtoptimierung essentiell für den nachgewiesenen Erfolg.

ERGEBNISSE

Die Integration der SWCNT in das Silikon zur Erzielung der elektrischen Leitfähigkeit wurde erfolgreich realisiert, wobei der spezifische Widerstand von 10^{14} Ohm cm auf 10 Ohm cm reduziert wurde. Damit ist die modifizierte Schicht als Elektrodenmaterial geeignet. Durch Optimierungen kann der spezifische Widerstand weiter gesenkt werden.

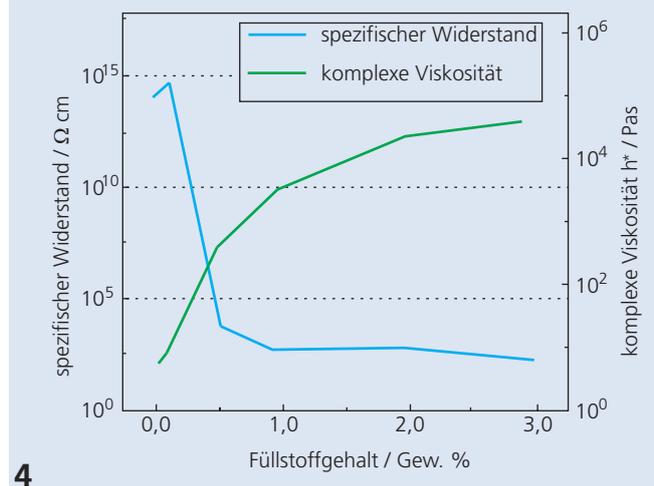
Die Deagglomeration und Homogenisierung der SWCNT führt andererseits zu einer deutlichen Veränderung der Dispersionsviskosität in Abhängigkeit des Füllstoffgehalts. Dies beeinflusst die Weiterverarbeitbarkeit, da die Viskositäten von 4,7 Pas auf 43,3 kPas ansteigen. Die Herstellungstechnologie für die Schichtverbände konnte so ausgelegt werden, dass die Verarbeitung dieser Dispersionen realisierbar ist und reproduzierbare DEA herstellbar sind.

Der Versteifung der Elektrode durch die SWCNT kann entgegengewirkt werden, um Schichtverbände mit identischen bzw. vergleichbaren Eigenschaften herzustellen. Gravierende Unterschiede der Schichten untereinander, bspw. im Elastizitätsmodul, führen zur Behinderung und Beeinflussung der aktorischen Wirkung.

Die entwickelten DEA aus den mit nanoskaligen Füllstoffen modifizierten Schichten verhalten sich in ihrer aktorischen Wirkung nach den Gesetzen des elektrostatischen Drucks. Dies weist erfolgreich nach, dass vollpolymere Aktoren auf Basis eines Silikons, welches für die Schichten entsprechend modifiziert wird, funktionsfähig sind. Weiterhin weisen sie

eine höhere Langzeitstabilität als konventionelle DEA auf. Die Ergebnisse wurden im BMBF-Verbundprojekt Candela (FKZ :13N10661 und 13N10660) gewonnen.

Abhängigkeit des spezifischen Widerstands und der komplexen Viskosität vom SWCNT-Füllstoffgehalt



- 2 *Flexibler Dreischichtaktor mit Kreiselektroden*
- 3 *REM-Aufnahme eines Dreischichtaktors nach Kryobruch*

KONTAKT

Dipl.-Ing. Tilo Köckritz
 Telefon: +49 351 463-34052
 tilo.koeckritz@iws.fraunhofer.de

