

Conformable Electronics:

Neue Technologien für innovative Produkte

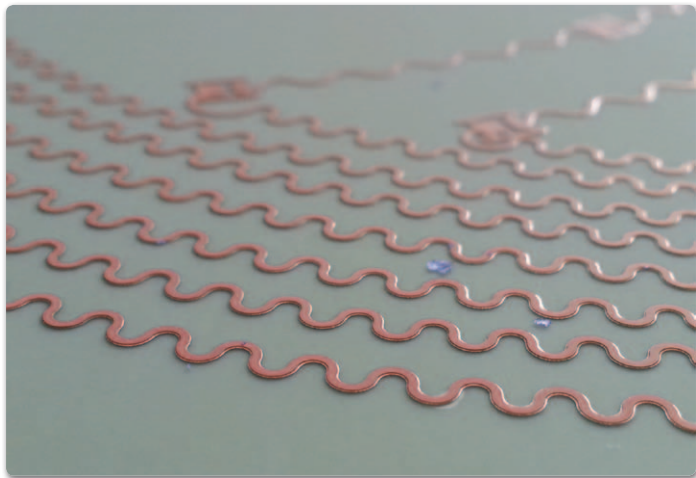


Bild 1: Die Mäandrierung ermöglicht die Dehnung der Kupferleiterbahnen auf dem Polyurethansubstrat

Elektronische Systeme in dünnen elastischen Folien, die sich dem menschlichen Körper anschmiegen und dessen Verformungen mühelos folgen, haben in den vergangenen Jahren einige Aufmerksamkeit erregt. Die zahlreichen Publikationen von Forschergruppen und Start-up Firmen in diesem jungen Technologie-segment decken ein weites Spektrum von Prototypen insbesondere für medizintechnische Anwendungen ab und sind auch für den immer größer werdenden Bereich der Wearable Electronics interessant. Erste Transfers in die industrielle Fertigung deuten auf die beginnende Kommerzialisierung derartiger Produkte hin.

Conformable

Neben dem ursprünglichen Ansatz für Applikationen in der Medizintechnik haben sich zunehmend weitere Anwendungsmöglichkeiten und spezifische Herstellungsverfahren entwickelt, wie z.B. für textile Elektronik (Funktionstextilien, Bekleidung) oder dreidimensional geformte Elektronik (Konsumgüter, Automobil-Innenraum). Am Fraunhofer IZM wird das Spektrum an Technologien unter dem Begriff „Conformable Electronics“ gebündelt und als strategische „Toolbox“ für innovative Produkte gefördert und vermarktet. Vom Prototyp bis zur Kleinserie können Produktkonzepte dort

direkt realisiert werden. Für die Produktion mittlerer bis großer Serien hat sich ein Netzwerk von industriellen Herstellern und Dienstleistern etabliert.

Geschichte

Das Fraunhofer IZM und der Forschungsschwerpunkt „Technologien der Mikroperipherik“ der TU Berlin entwickeln Technologien für innovative Schaltungsträger sowie Verbindungstechnik und Verkapselung elektronischer Systeme. Systembausteine wie Mikro-Controller, LEDs, Passive, etc. sind dabei zumeist kommerzielle (bzw. geringfügig modifizierte) elektronische Komponenten. Mittels neuartiger Verbindungsarchitekturen und der Integration von Komponenten in den Schaltungsträger können elektronische Systeme miniaturisiert oder unter Verwendung angepasster Materialien und Schaltungslayouts dehnbar und verformbar werden. Ausgangspunkt der Entwicklungen sind Leiterplatten und Packaging-Technologien.

Die Aktivitäten im Bereich der Conformable Electronics begannen am Institut mit der Textilelektronik im Jahr 2002. Ab 2006 kam die dehnbare und 2010 die verformbare Elektronik hinzu. Diese werden im Folgenden eingehender beleuchtet.

Technologien

Zunächst ist Folgendes festzuhalten: „Dehnbare Elektronik“ bedeutet nicht, dass das gesamte elektronische System gleichmäßig dehnbar ist. Das hieße, dass sich sämtliche Einzelkomponenten, aus denen das System aufgebaut ist, dehnen ließen – das ist mit heutigen Technologien nicht realisierbar. Wie oben erwähnt, werden kommerzielle Komponenten als funktionale elektronische Bauteile verwendet. Diese sind nicht dehnbar. Das Gesamtsystem hingegen ist dehnbar, indem die Leiterplatte bzw. der Schaltungsträger, der die Bauteile miteinander verbindet, dehnbar ist. Das bedeutet, dass das Gesamtsystem aus „weicheren“, dehnbaren und harten, nicht dehnbaren Bereichen (elektronische Bauteile) besteht.

Die Herstellung und die weitere Verarbeitung der „dehnbaren Leiterplatte“, die am Fraunhofer IZM entwickelt wurde, greifen weitgehend auf etablierte Basistechnologien der Leiterplattenfertigung zurück. Die Leiterzüge bestehen aus Kupfer mit einer üblichen Dicke von 18 oder 35 µm und einer Breite von 120 µm. Eine notwendige Bedingung, um diese Leiterzüge dehnbar zu machen, ist ein mäandrierendes Layout, wie in Bild 1 gezeigt. Als Trägermaterial für die Leiterzüge wird anders als für die starre (glasfaser-

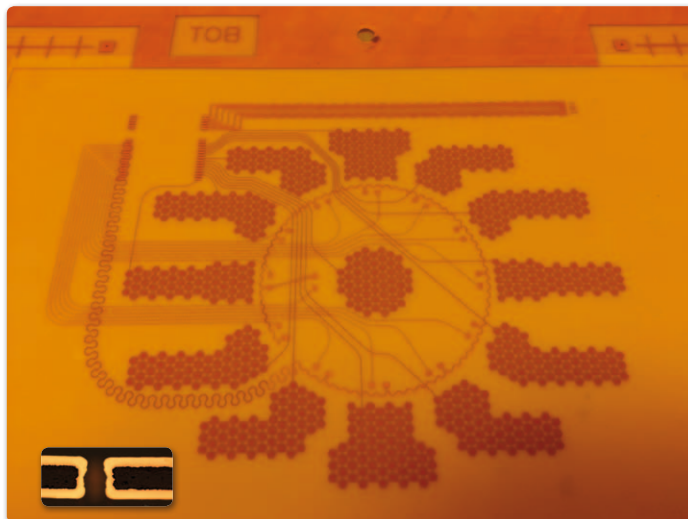


Bild 2: Beispiel einer dehnbaren Leiterplatte mit Leiterbahnen auf zwei Lagen, die über Durchkontakte lokal miteinander verbunden sind

Autor

Thomas Löher,
Manuel Seckel,
Malte von Krshiwoblozki

Zielgröße	Wert
Erweichungsbereich	155 - 175 °C
E-Modul	~ 30 MPa @ -10 °C
	~ 12 MPa @ 80 °C
Glasübergangstemperatur TG	- 30 °C
Härte	Shore A 87
Feuchteaufnahme	0,82 wt% @ 30 °C, 60% r.h.
Dielektrizitätskonstante (?r)	4,7 @ 1 MHz
Dielektrischer Verlust (tan?)	0,083 @ 1 MHz
Elektrische Durchschlagsspannung	80 V/µm

Tabelle 1: Mechanische und elektrische Eigenschaften der für die dehnbare Elektronik verwendeten thermoplastischen Polyurethanfilme

verstärktes Epoxid, FR4) oder flexible (beispielsweise PI: Polyimid; PEN: Polyethylenphthalat) Leiterplatte – eine thermoplastische Polyurethanfolie verwendet, in die die Leiterbahnen wie weiter unten beschrieben eingebettet werden. Die Dicke dieser Folien beträgt zwischen 50 und 200 µm. Einige Materialcharakteristika dieses für die Elektronik ungewöhnlichen Materials sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die elektrischen Bauteile (SMD-Komponenten) werden mittels automatisierter Oberflächenmontage mit der dehnbaren Leiterplatte verbunden.

Der Aufbau der Basis für eine einlagige dehnbare Leiterplatte (d.h. Leiterbahnen nur auf einer Lage) erfolgt durch Laminieren einer Kupferfolie auf die thermoplastische Polyurethanfolie unter ähnlichen Bedingungen wie für die Aufbau- lage einer konventionellen Leiterplatte. Die Kupferfolie wird anschließend fotolithografisch strukturiert.

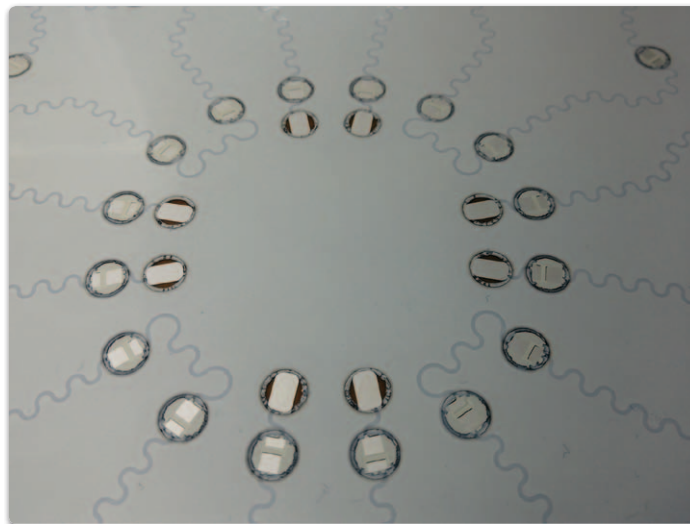


Bild 3: Dehnbare Leiterplatte mit mäandernden Kupferleiterbahnen in der Polyurethanmatrix und Anschlussflächen für Komponenten, Lötstopp-Maske (weiß)

Beim Aufbau zweilagiger Basislaminare wird zunächst die Polyurethanfolie beidseitig mit Kupfer kaschiert und mechanisch-galva-

nisch mit Durchkontakten versehen, die beide Lagen an definierten Stellen elektrisch miteinander verbinden. Die weitere Bearbeitung erfolgt wie für die einseitige Aufbauvariante beschrieben. Ein Beispiel für ein ein- bzw. zweilagigen Aufbau zeigt Bild 2

Neben den mäandrierten Leiterzügen werden bei der Strukturierung auch die Anschlussflächen für elektronische Bauelemente definiert. Um mit der nachfolgenden Oberflächenmontage der Komponenten vereinbar zu sein, wird an den Positionen der Komponenten lokal eine Lötstopp-Maske aufgebracht

(platten). Die offen liegenden Leiterzüge werden schließlich durch das Laminieren einer weiteren Polyurethanfolie, nunmehr mit Öffnungen an den Komponentenpositionen, vollständig in die dehnbare Matrix eingebettet. In einem letzten Schritt wird schließlich auf den Anschlussflächen für die Komponenten eine dauerhaft lötbare Oberflächenbeschichtung (z.B. stromlos Silber, ENIG) abgeschieden.

Hergestellt werden die dehnbaren Leiterplatten auf Paneelen mit Abmessungen von 610 x 457 mm. Darüber hinaus wurden erste Schritte hin zu einer Rolle-zu-Rolle Fertigung mit einer Breite von 50 cm erfolgreich abgeschlossen. Während der Bearbeitung sind die dehnbaren Leiterplatten auf einem starren Träger fixiert. Damit ist die Handhabung in der Fertigung die gleiche wie die einer starren Leiterplatte. Die Fertigungstechnologie wird bei verschiedenen Leiterplattenherstellern in Europa eingesetzt u.a. bei Würth Elektronik, Contaq AG, Andus Electronic und Express Circuits (UK).

Die elektronischen Komponenten werden in Oberflächenmontagetechnik mit der Leiterplatte verbunden. In der Praxis werden dabei auch für dehnbare Leiterplatten automatisierte Prozesse angewandt. Da Polyurethan und Polycarbonat nicht vereinbar sind mit den für bleifreies Löten typischen Spitzentemperaturen von 260 °C, besteht der wesentliche Unterschied zur konventionellen Bestückung in der Verwendung eines Lots mit niedrigerem Schmelzpunkt: Zinn-Bismuth mit einem Schmelzpunkt von

(um die Dehnbarkeit des Gesamtsystems zu gewährleisten, darf die Lötstopp-Maske nicht ganzflächig sein, wie auf herkömmlichen Leiter-

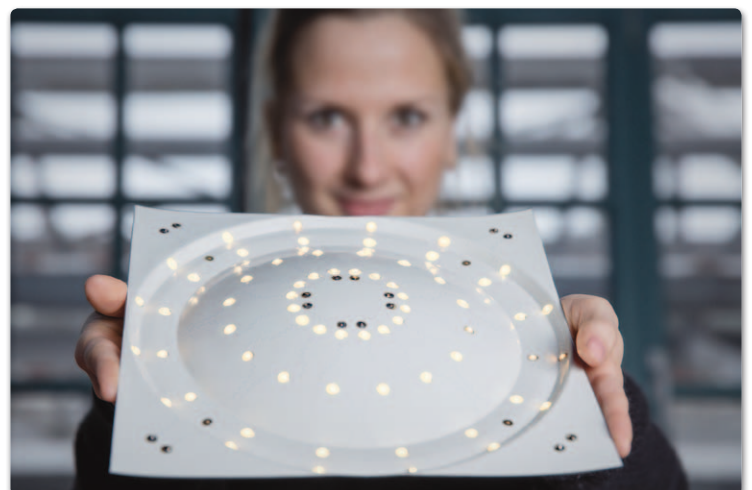


Bild 4a und b: Elektronisches System nach der Heißverformung

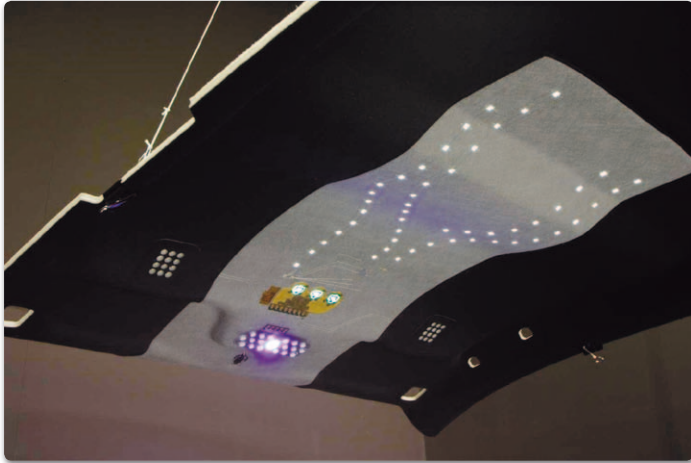


Bild 5a und b Integration der Beleuchtung in den Dachhimmel eines Autos mittels dehnbare und textiler Elektronik

$T_m = 142\text{ °C}$ ist hier die naheliegende Lösung. Wenn auch nicht „der“ Standard in der Industrie, so ist dieses Lot als druckbare Paste kommerziell erhältlich und wird von einigen Dienstleistern im Bereich Elektronik-Bestückung regulär angeboten.

Resultierende Möglichkeiten

Die dehnbaren Leiterplatten auf der Basis von Polyurethan erlauben Dehnungen mit Auslenkungen bis zu 100 % der ursprünglichen Länge und mehr! Bei wiederholten Dehn- und Entspannungszyklen treten in Abhängigkeit von der Dehnungsbelastung Ermüdungsbrüche auf: bei

zyklischer Dehnung um wenige Prozent der Ursprungslänge sind mehrere zehntausend Auslenkungen möglich, bei Dehnungen im zweistelligen Prozentbereich sind einige hundert Dehnzyklen möglich.

Mit Polyurethan als thermoplastischem Matrixmaterial liegt auch eine einmalige Heißverformung des elektronischen Systems nahe. Allerdings bietet die Polyurethanfolie allein keine ausreichende Stabilität, um die eingeprägte Form beizubehalten. Aus diesem Grund wird die dehnbare Leiterplatte auf eine stabilisierende Platte aus Polycarbonat (ebenfalls thermoplastisch)

lamiert und beides gemeinsam verformt. Ein in dieser Weise verarbeitetes System ist in Bild 4 dargestellt.

Auch die Kombination von dehnbaren elektronischen Systemen mit textiler Elektronik ist durchaus attraktiv, weil sich so auch großflächige dreidimensionale Systeme erzeugen lassen. Beispielhaft ist hierfür die Integration der Beleuchtung in den Dachhimmel eines Autos Bild 5.

Zusammenfassung und Ausblick

Im Hinblick auf Technologien ist unter „Conformable Electronics“ ein Baukasten von Technologien

zur Herstellung elektronischer Flachbaugruppen (dehnbar, textil und heißverformbar) zu verstehen. Diese können anschließend an beliebig geformte statische oder bewegliche dreidimensionale Oberflächen angepasst werden. Die unterschiedlichen, auf Verformung ausgelegten Ansätze lassen sich zudem bestens miteinander kombinieren: dehnbare Schaltungsträger und textile Elektronik lassen sich zu robusten hybriden Systemen verarbeiten, die eine Vielfalt von Anwendungsszenarien für innovative und nicht zuletzt kostengünstige Produktkonzepte eröffnen. ◀