



Produkt-Info

- Dehnbare Leiterplatten

- 1. Einleitung

„Conformable Electronics“ ist das Schlagwort, wenn es um dynamisch verformbare, dehnbare, strukturelle und 3-dimensionale Elektronik geht. Hiermit kann ein breites und zunehmend wachsendes Anwendungsfeld von Medizintechnik, Smart Textiles, IoT, Industrie 4.0, Automotive und Luftfahrt bis hin zu Consumer-Elektronik bedient werden.

Durch den Einsatz von elastischen bzw. dehnbaren Leiterplatten als eine Untergruppe der Conformable Electronics erschließen sich völlig neue Anwendungsbereiche und Lösungsmöglichkeiten für elektronische Systeme und Baugruppen. Typische Applikationen sind daher u.a. intelligente Pflaster/Bandagen, Smart Textiles und Wearables.

Es entstehen hochflexible, dehnbare und anpassbare Schaltungen auf der Basis elastischer Materialien, die hochdynamische Verformungen, angepasste Komponentenmontagen und -verkapselungen sowie eine Lamination auf textile Materialien mit nachfolgender textiler Weiterverarbeitung ermöglichen.

- 2. Basismaterial und Eigenschaften

Im Gegensatz zum aus der Flex/Starrflex-Technologie bekannten und etablierten Polyimid ist die Materialbasis eine hochelastische thermoplastische Polyurethan(TPU)-Folie, auf die Kupferfolien laminiert werden. Das ohne Einsatz von Weichmachern hergestellte und damit biologisch abbaubare thermoplastische PU ist in verschiedensten Modifikationen von hart über weich bis hin zu elastisch verfügbar. Es wird in vielen Bereichen verwendet, z.B. in Matratzen, Schuhsohlen, Schläuchen und Dichtungen, als Baustoff oder auch als Lederimitat für Möbel.

Für die Anwendung als dehnbare Leiterplattensubstrat kommt eine hochelastische Folie aus Multiblock-Copolymer mit harten und weichen Segmenten zum Einsatz. Die bei CONTAG verarbeitete Standarddicke beträgt 0,10 mm - auf Anfrage können aber auch andere Dicken zwischen 0,05 mm - 1,00 mm angeboten werden.

Eigenschaft	Wert	Eigenschaft	Wert
Dichte	1,15 g/cm ³	Thermische Ausdehnung	ca. 200 ppm/K
Härte	87 Shore A	Feuchteaufnahme	ca. 0,6 %
Erweichungsbereich	155 - 170 °C	Wärmeleitfähigkeit	ca. 0,2W/m*K
Bruchspannung	60 MPa	Dielektrizitätskonstante ϵ_r	4,4 (10 MHz); 3,2 (1 GHz)
Spannung bei 50 % Bruchdehnung	6 - 7 MPa	Verlustfaktor $\tan\delta$	ca. 0,08
Bruchdehnung	550 %	Durchschlagsfestigkeit	> 7,5 kV / 100 μ m

Tab. 1: Physikalische und elektrische Eigenschaften des Materials

Weitere allgemeine Eigenschaften sind:

- Chemisch stabil gegenüber Ölen, Ozon, Teer, vielen Lösemitteln und verdünnten Säuren
- Hohe Dichtheit gegen flüssige Medien bei gleichzeitig hoher Dampfdurchlässigkeit
- Biokompatibel
- Hydrolyse- und mikrobienbeständig
- Hohe UV- und Witterungsbeständigkeit
- Sehr gute Schweißbarkeit und Thermoformbarkeit
- Verkleb-, bedruck-, hinterspritz- und hinterschäumbar

Da auf dieses dielektrische Grundmaterial die Kupferfolien bei CONTAG laminiert und strukturiert werden, kann eine finale Kupferdicke zwischen 5 - 70 μ m gewählt werden. Die erreichte Haftfestigkeit bzw. Abzugskraft der aufgetragenen Kupferfolie liegt im Bereich von 3 N/mm und damit deutlich höher als in der relevanten IPC-Leiterplattennorm gefordert (> 1 N/mm).

Das aufgetragene elektrische Layout in Form der Kupferstrukturen beeinflusst die mechanischen Eigenschaften der finalen Schaltung erheblich. Insbesondere die Bruchdehnung eines reinen TPU-Materials kann dann natürlich nicht mehr erreicht werden. Je nach Design der Leiterzüge im gedehnten Bereich, die als Mäander oder sogenannte „Horseshoes“ ausgeführt werden, sind einmalige Dehnungen bis zu 50 % und wiederholbare Dehnungen bis zu 30 % möglich.



3. Herstellungsverfahren

Ausgangsbasis für die verschiedensten Aufbau- und Ausführungsvarianten ist eine ein- oder doppelseitig kupfer-beschichtete TPU-Folie, die nachfolgend mit den bekannten Grundprozessen einer PCB-Fertigung wie Fotodruck, Ätzen, etc. weiter verarbeitet wird. Dabei müssen die Parameter bei den Einzelprozessen auf die spezifischen Besonderheiten des Materials angepasst werden. Technologische Besonderheiten ergeben sich insbesondere aufgrund des hohen thermischen Ausdehnungskoeffizienten und der mechanischen Beschaffenheit des Materials.

Je nach Ausführung und Anwendungsfall können sich optional diverse Folgeprozesse anschließen, u. a.:

- Ausschneiden der Nutzen bzw. Einzelleiterplatten
- Partielle Verstärkungen aufbringen
- Bauelemente bestücken, ggf. Verkapseln
- Auf andere Träger laminieren (Textilien, Polycarbonat, o. ä.)
- Tiefziehen

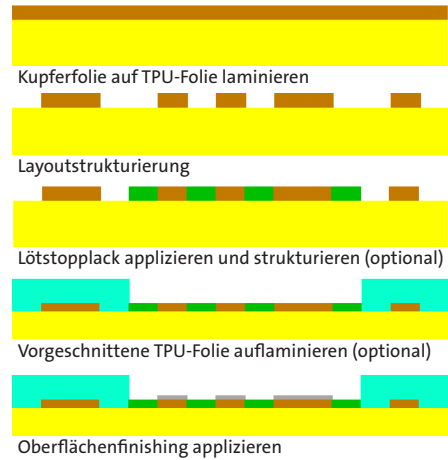
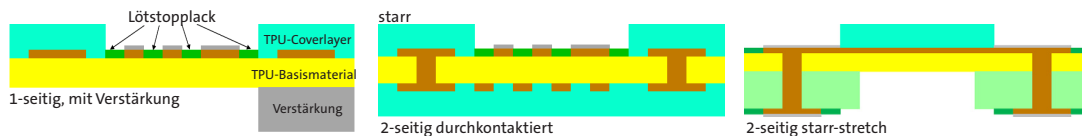


Abb. 1: Fertigungsablauf dehnbare Leiterplatte, einseitig

4. Ausführungsvarianten

Auf der Basis strukturierter TPU-Lagen lassen sich neben dem Standard der einseitigen dehnbaren Schaltungen auch zwei- und höherlagige durchkontaktierte Schaltungen realisieren. Dabei ist zu beachten, dass die Dehnbarkeit mit steigender Dicke deutlich abnimmt.

Auch starr-dehnbare Aufbauten in Anlehnung an die bekannten starr-flexiblen Leiterplatten sind möglich, wobei dann das bekannte Polyimid durch eine TPU-Lage ersetzt wird.



Bezeichnung	Durchkontaktiert	Lagenzahl stretch	Lagenzahl starr	Verstärkung
1-seitig stretch	nein	1	---	optional
2-seitig stretch	möglich	2	---	optional
starr-stretch	ja	1	1-n	ja

Tab. 2: Aufbauvarianten dehnbare und starr-dehnbare Schaltungen

Rein dehnbare Schaltungen müssen u. U. partiell verstärkt werden, z.B. in den Stecker- oder Bestückungsbereichen. Hierzu können Folien aus Polyimid oder Polyester, aber auch FR4-Teile verwendet werden.

Als Endoberflächen können prinzipiell alle gängigen chemischen Oberflächenfinishes wie Nickel/Gold (ENIG), Nickel/Palladium/Gold (ENEPIG), Zinn (ISn), Silber (IAG), Silber/Gold (ISIG) oder Palladium/Gold (EPiG) genutzt werden, partiell oder vollflächig. Oberflächen mit Nickelschichten dürfen aufgrund der Sprödigkeit vom Nickel nach dem Aufbringen einer strukturierten Lötstopplack/TPU-Coverlayerlage nur partiell abgeschieden werden.

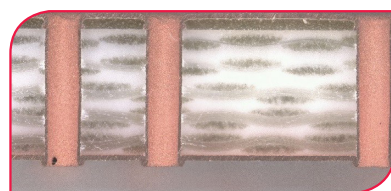
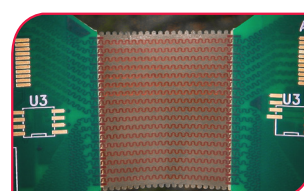


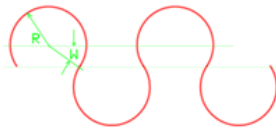
Abb. 2: Durchkontaktierungen im Polyurethan





5. Designhinweise

Grundsätzlich gelten für das elektrische Design vergleichbare Vorgaben wie bei flexiblen Schaltungen. Darüber hinaus müssen die Leiterzüge im dehnbaren Bereich als Mäander ausgeführt werden, um die Längenänderung einer möglichen Dehnung im Leiterzug abzufangen. Hierzu bieten sich folgende Geometrien an:



Horseshoes



Wellen (Halbkreise und Kreisabschnitte)



Rechtecke

Geometrische Parameter der Horseshoes-/Wellengeometrie sind Radius, Öffnungswinkel (Öffnungswinkel 0° = Halbkreis) sowie die Leiterbahnbreite.

Abhängig vom konkreten Layout sind einmalige Dehnungen bis maximal 50 % und wiederholbare Dehnungen bis ca. 30 % möglich.

Parameter	Wert
Materialdicke	100 μm (Standard)
Deckfolie	TPU
Lötstopp	Partiell
Line/Space min	$\geq 100 \mu\text{m}$
Kupferdicke	9 - 70 μm
Radius R	$\geq 125 \mu\text{m}$
Öffnungswinkel W	-45° bis $+45^\circ$

Tab. 3: Designempfehlungen

6. Bestückung und Weiterverarbeitung

Aufgrund der Erweichungstemperatur des TPU-Materials beginnend bei ca. 155°C muss ein niedrig schmelzendes Lot auf der Basis einer SnBi- bzw. SnBiAg-Legierung verwendet werden. Dafür bietet sich beispielsweise das Lot Indalloy 282 an, welches einen Schmelzpunkt von ca. 140°C aufweist. Der Lotauftrag erfolgt über Siebdruck.

Aber auch Leitkleben und Crimpen sind erprobte und bewährte Verbindungstechnologien. Für das Crimpen von Steckerkontakten ist zu beachten, dass die Crimpkontakte verstärkt werden, z.B. durch partiell aufgebraute Polyimid- oder FR4-Bereiche.

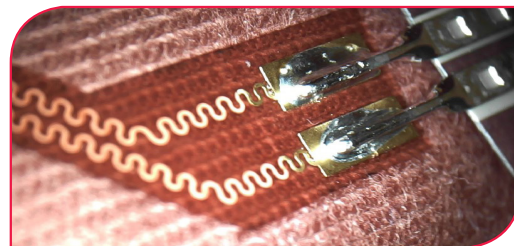


Abb. 3: Lötstellen auf einem textilen Träger

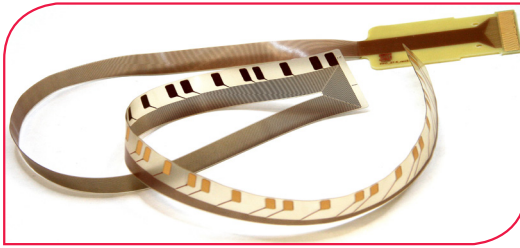
Die bestückten Bauelemente lassen sich bei Bedarf verkapseln und dadurch schützen. Hierfür kann ein Einkomponenten- oder wasserlösliches Polyurethan verwendet werden, das in Spritzgießtechnologie oder mit einer Glob-Top-Pistole aufgebracht wird. Auch der Einsatz von PU-Ringen (Dam & Fill Glob-Top) und das Aufsetzen von vorgeformten PU-Kappen mit anschließender thermischer Verklebung haben sich bewährt.

Für den Anwendungsbereich Textil/Wearables bietet sich vor dem Bestücken die Lamination auf baumwollbasierte Textilien an. CONTAG nutzt dazu die hydraulische Presse, auf der unter Temperatur und Druck das Material erweicht und in die Gewebestruktur eingearbeitet wird.

Für dauerhaft verformte Anwendungen wie Bedienkonsolen, etc. kann die dehnbare TPU-Schaltung auf eine relativ starre Trägerfolie wie beispielsweise Polycarbonat (Dicke 200 – 300 μm) auflaminiert werden, die nach dem Bestücken im Tiefziehverfahren verformt wird.



7. Anwendungsbeispiele



Messgürtel zur Erfassung der Lungenfunktion



Pflasterpatch mit Drucksensoren



Schmuckstücke

8. Zusammenfassung und Ausblick

Die Verwendung eines thermoplastischen, dehnbaren Substrates ermöglicht völlig neuartige Applikationen auf dem Gebiet der Conformable und Wearable Electronics.

Auf Basis eines thermoplastischen Polyurethanmaterials sind elektrische Schaltungsträger möglich, die dauerhaft verformt werden oder dynamisch belastet und gedehnt werden können.

Das elektrische Layout ist standardmäßig einlagig, aber auch doppelseitige durchkontaktierte Schaltungen und starr-dehnbare Ausführungen können realisiert werden. Im gedehnten Bereich ermöglichen mäanderförmige Leiterbahnstrukturen eine Längenänderung von bis zu 30% des Substrates.

Die CONTAG AG hat sich in diversen Forschungs- und Industrieprojekten umfangreiches Know How zu dieser innovativen Technologie erarbeitet und bietet die Prototypenfertigung auch in den firmentypischen kurzen Lieferzeiten an.

Für weitergehende technologische Fragen rund um das Thema Leiterplatten wenden Sie sich bitte an unser CONTAG-Team (Tel. 030/351 788-300 oder team@contag.de).