

Epoxid-Formmassen für MID Substrate

Epoxid-Formmassen stellen in Elektronik, Sensorik und Mechatronik ihre Eignung zur Umhüllung und zum Schutz empfindlicher Bauteile schon lange unter Beweis. Bei dreidimensionalen Leiterplatten können sie ihre Vorzüge ganz besonders gut ausspielen.

MIDs erlauben die Integration von Elektronik, unterschiedlichsten Funktionalitäten sowie Gehäusefunktionen in einem einzigen Bauteil. Die Anwendungsbereiche solcher MID-Lösungen werden ständig erweitert und ausgebaut. Dadurch steigen die Anforderungen an die eingesetzten Materialien, u.a. hinsichtlich Beständigkeit gegenüber unterschiedlichsten Medien, Dimensionsstabilität und Wärmeableitung. Die geforderten Eigenschaften müssen auch bei schwierigen Umgebungsbedingungen wie extremen Temperaturen oder Temperaturwechseln gehalten werden. Mit im Fokus stehen auch Gesamtkosten und Prozesssicherheit.

Der vorliegende Artikel zeigt die besonderen Eigenschaften der Epoxid-Formmassen und ihre Vorteile für Anwendungen im Bereich MID auf.

Eigenschaften von Epoxid-Formmassen

Wichtige Anforderungen für Anwendungen in der MID Technologie:

- Temperaturbeständigkeit
- Gestaltungsfreiheit
- Chemikalienbeständigkeit, geringe Wasseraufnahme
- enge Toleranzen, gute Reproduzierbarkeit
- Dimensionsstabilität
- Prozesssicherheit
- Eignung für Laserstrukturierung
- Selektive Metallisierbarkeit

Im Folgenden wird die Eignung von Epoxid-Formmassen hinsichtlich dieser Anforderungen erläutert. Es werden die Eigenschaften betrachtet, die die oben genannten Anforderungen wesentlich beeinflussen.

Isotropie – homogener Verbund

Die Matrix von Epoxid-Formmassen bildet nach der Reaktion ein dreidimensionales Netzwerk, d.h. das Formteil besteht aus einem homogenen Verbund. Das ermöglicht gleichmässige Eigenschaften in alle Richtungen des Formteils. Bei Thermoplasten hingegen werden die langkettigen Moleküle mehr oder weniger ausgerichtet.

Die Ausdehnungskoeffizienten von Epoxid-Formmassen können in gewissem Rahmen an die Anforderungen angepasst werden. Sie liegen generell in der gleichen Grössenordnung wie die von FR4-Leiterplatten oder Metallen.

Die Homogenität der Eigenschaften zeigt sich auch an den Bindenähten: Die Moleküle kommen nicht - wie bei Thermoplasten - nebeneinander zu liegen, sondern reagieren über die Kontaktflächen hinaus miteinander. Bei Thermoplasten wird die Festigkeit in diesen Bereichen oft auf 30 bis 50 % des Ausgangswertes reduziert, bei Duroplasten bleibt sie nahezu erhalten.

Thermische Eigenschaften – grosse Bandbreite

Bei Betrachtung der Temperaturbeständigkeit sind zwei Teilaspekte zu beachten. Zum einen interessieren die Materialeigenschaften bei Einsatztemperaturen, z.B. die mechanischen Werte; zum anderen ist wichtig, wie lange diese Eigenschaften unter Wärmeeinwirkung erhalten bleiben. Die Wärmealterungsbeständigkeit geht am besten aus der Messung nach IEC 216 hervor. Bei dieser Prüfung werden Prüfkörper bei unterschiedlichen Temperaturen gelagert. Erfasst wird die Zeit, in der die betrachtete Eigenschaft auf einen bestimmten Anteil des Ausgangswertes abgefallen ist. Diese Werte selbst werden bei Raumtemperatur bestimmt. Epoxid-Formmassen erreichen hier Werte bis über 180°C für 20'000h, entsprechend der Wärmeklasse H.

Wichtig für eine Anwendung sind jedoch auch die Eigenschaften bei Betriebstemperatur. Abb. 1 zeigt die mechanischen Eigenschaften exemplarisch anhand des Schubmoduls in Abhängigkeit der Temperatur.

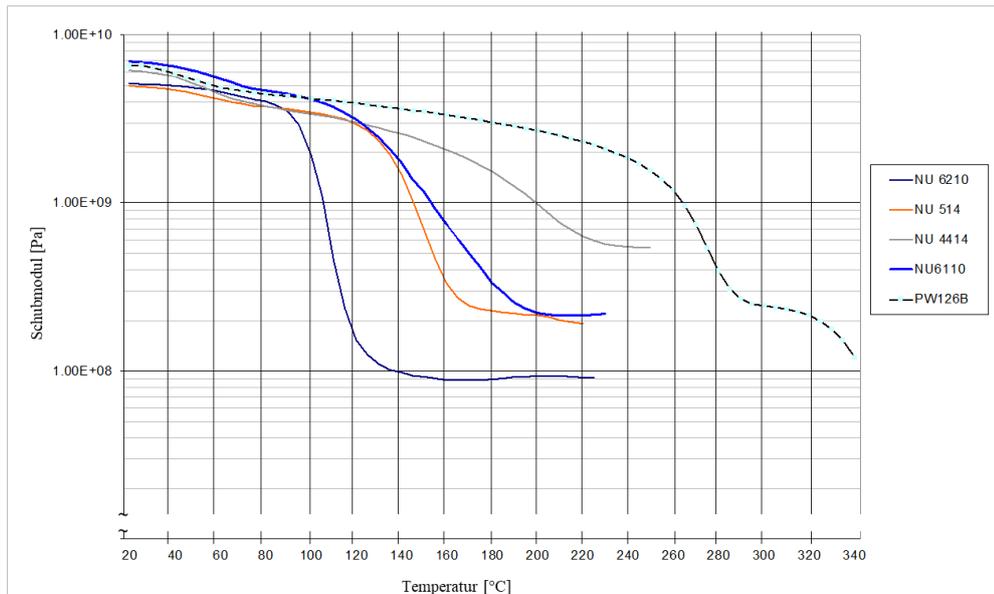


Abb. 1 Schubmodul verschiedener Epoxid-Formmassen

Dieses Diagramm zeigt die Variationsmöglichkeiten bei der Formulierung. Alle Epoxid-Formmassen durchlaufen einen Bereich, in dem die Werte auf ein tieferes Niveau abnehmen, das sie dann bis zur thermischen Zerstörung bei sehr hohen Temperaturen halten. Der Wendepunkt der Kurve entspricht dabei der Glasübergangstemperatur (T_g). Die Variationsmöglichkeiten durch Harz und Härter ermöglichen es, die unterschiedlichsten thermischen Anforderungen zu erfüllen, von flexiblen ($T_g \approx 110^\circ\text{C}$) bis zu steifen Systemen ($T_g > 250^\circ\text{C}$).

Alle Systeme, besonders aber diejenigen mit hohem T_g , zeigen ein sehr geringes Kriechverhalten unter Last, selbst bei hohen Temperaturen.

Chemische Beständigkeit – sehr gut

Epoxid-Formmassen zeichnen sich generell durch eine sehr gute Chemikalienbeständigkeit aus, die sie bei vielen Anwendungen, u.a. auch im Motorbereich, unter Beweis stellen. Die Forderungen sind jedoch von Anwendung zu Anwendung sehr speziell. Einlagerungsuntersuchungen auch bei erhöhten Temperaturen zeigen bei Betrachtung von Quellung, Gewichtsänderung und mechanischen Eigenschaften eine sehr gute Beständigkeit, unter anderem gegenüber verschiedenen Treibstoffen, Getriebeölen (Abb. 2), Wasser/Glykol oder auch AdBlue.

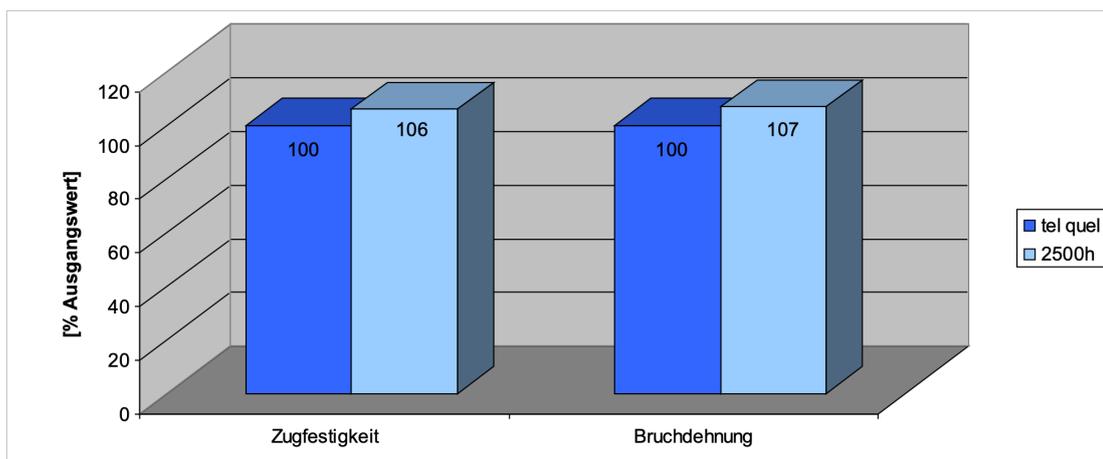


Abb. 2 Einlagerung in Getriebeöl @150°C (NU6110 V)

Gestaltungsfreiheit – geringe Schwindung, niedrige Verarbeitungsviskosität

Epoxid-Formmassen weisen eine sehr geringe Schwindung auf. Die Formschwindung liegt im Bereich von 0.5%, der Nachschwund ist mit 0.01% vernachlässigbar gering.

Die geringe Schwindung führt zwangsläufig zu weniger Spannungen und ermöglicht eine hervorragende Dimensionsstabilität. Sie ist eine wichtige Voraussetzung für enge Toleranzen, wie sie für funktionelle Masse, z. B. für Dichtbereiche, elektrische Isolierungen oder als Basis für leitfähige Beschichtungen erforderlich sind.

Sie ist die Ursache, weshalb mit Epoxid-Formmassen gefertigte Formteile keine Schwindungsmarkierungen aufweisen. Das ist ein deutlicher Unterschied zu Thermoplasten, bei denen an Wanddickenübergängen oder Rippen Einfallstellen auftreten (Abb. 3).

Duroplastmoleküle haben während der Verarbeitung, im Vergleich zum Thermoplast, ein sehr niedriges Molekulargewicht. Besonders für Epoxid-Formmassen resultieren hieraus sehr niedrige Verarbeitungsviskositäten. Selbst mit über 70 Gewichts-% gefüllte Epoxid Formmassen können daher noch mit Forminnendrücken bis unter 50 bar verarbeitet werden.

Auch lassen sich Umhüllungsschichtstärken von unter 1mm bei guter Rissbeständigkeit ohne Probleme realisieren. Die niedrige Verarbeitungsviskosität bedingt eine sehr gute Abbildung der Werkzeugoberfläche. Die für die MID-Technologie erforderliche glatte und porenfreie Oberfläche des Spritzlings lässt sich durch eine entsprechende Oberflächengüte im Werkzeug erreichen (Abb. 3).



Abb. 3 Glänzende Oberfläche ohne Einfallstellen

Die gute Fließfähigkeit ist eine der Voraussetzungen für die schonende Umhüllung empfindlicher Einlegeteile, wie z.B. Module, Sensoren oder Spulen. Bei Spulenumwicklungen reicht die mögliche Bandbreite von einer Teilimprägnierung bis hin zur vollständigen Imprägnierung.

Wärmeleitung – bis zu 2.4W/mK

Für eine steigende Anzahl an Anwendungen wird eine verbesserte Wärmeleitung erwünscht, z.B. um Verlustwärme elektronischer Komponenten abzuleiten und die Betriebstemperatur zu senken. Epoxid-Formmassen bieten generell Wärmeleitfähigkeiten von $\pm 0.8\text{W/mK}$. Durch entsprechende Massnahmen kann die Wärmeleitung auf bis zu 2.4W/mK erhöht werden, dies isotrop in alle 3 Richtungen (Abb. 4).

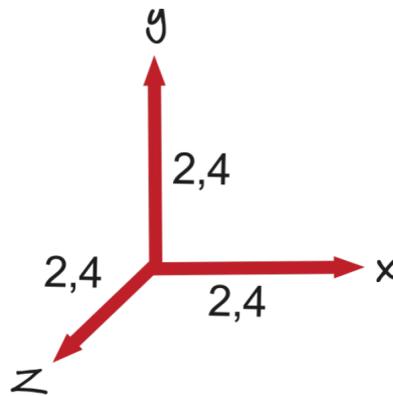


Abb. 4 Isotrope Wärmeleitung

Wärmeausdehnung – ähnlich Kupfer

Speziell für MID-Anwendungen ist es unerlässlich, dass das Substrat eine Wärmeausdehnung ähnlich der von Kupfer besitzt. Hierdurch können Unterbrüche der Leiterbahnen bei Temperaturwechsel aufgrund unterschiedlicher Ausdehnung vermieden werden. Die Ausdehnungskoeffizienten von Epoxid-Formmassen liegen in diesem Bereich, aufgrund der 3-dimensionalen Vernetzung ebenfalls in alle 3 Richtungen (Abb. 5).

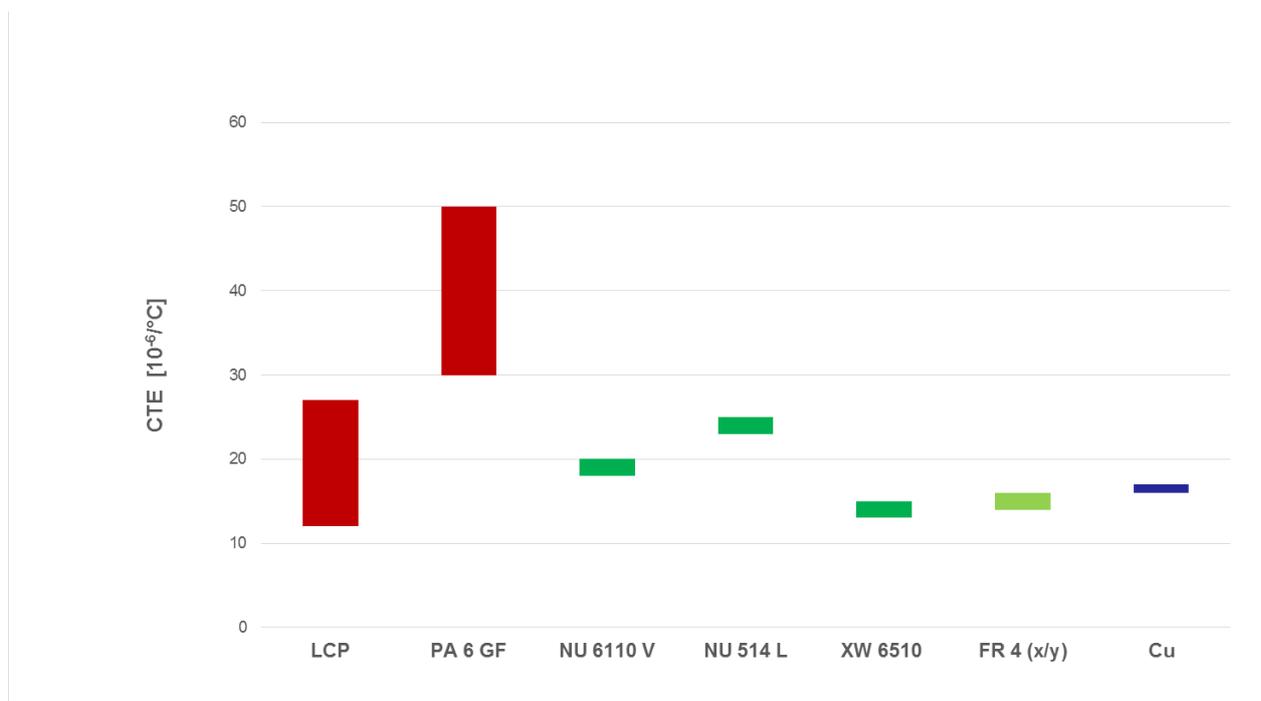
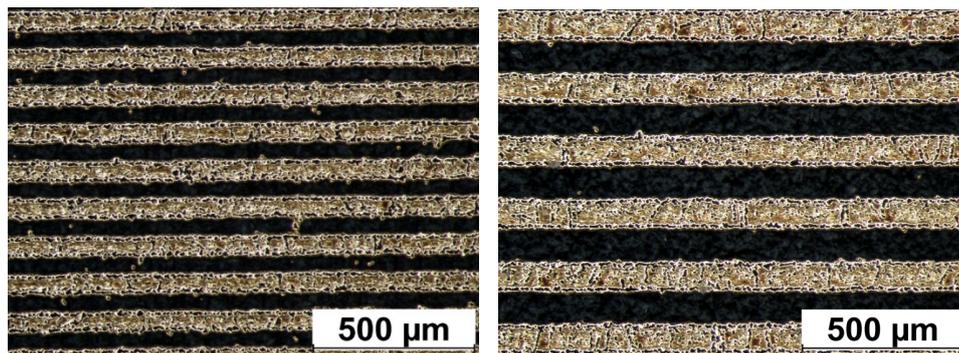


Abb. 5 Vergleich verschiedener Wärmeausdehnungskoeffizienten

Selektive Metallisierbarkeit – mit Standardformulierung

Die Möglichkeit, die Eigenschaften wie vorgestellt ohne Kompromisse nutzen zu können, bedeutet, dass für die selektive Metallisierung der Oberfläche mit einem laserbasierten Verfahren keine speziellen Eingriffe oder Änderungen an der Formmasse notwendig sind, wie z.B. der Zusatz spezieller laseraktivierbarer Additive. Hierfür wurden bei Hahn-Schickard in Stuttgart Untersuchungen an handelsüblichen Epoxid-Formmassen durchgeführt, die die Eignung für diese Technologie aufzeigen.

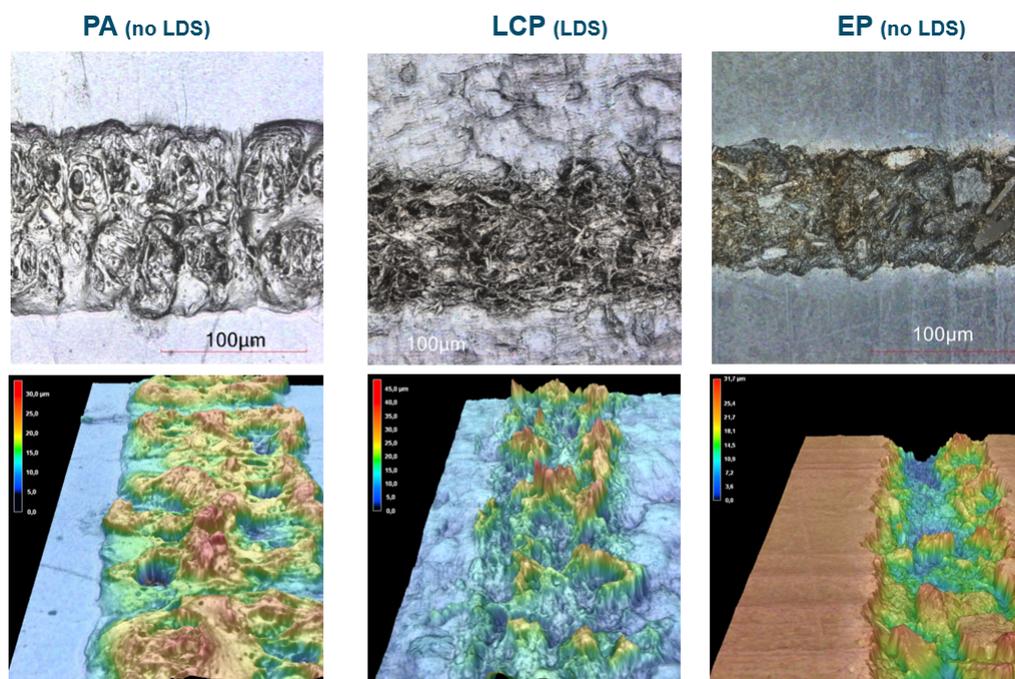
Ohne spezielle laseraktivierbare Additive in der Formmasse lassen sich ausstromlos abgeschiedene Leiterbahnen aus Kupfer, Nickel und Gold mit einem Leiterbahnpitch von 120µm und kleiner, bei Rauigkeiten Rz von unter 20µm realisieren (Abb. 6). Die Haftfestigkeit liegt bei 10 – 30 N/mm².



Quelle: Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e.V.,

Abb. 6 Pitch 120µm (links) und 200µm (rechts)

Abb. 7 zeigt die Details der Substratoberfläche nach der Laserbehandlung. PA ohne LDS Additiv weist eine geschmolzene, glatte Oberfläche auf, die nicht für die Metallisierung geeignet ist. Sowohl mit LCP, das ein LDS Additiv enthält, als auch mit Epoxid-Formmassen ohne entsprechendes Additiv lassen sich mittels Laser mikroporöse Strukturen erzielen, die für eine Metallisierung geeignet sind. Bei Epoxid-Formmassen werden hierbei die Randzonen präziser abgebildet.



Quelle: FAPS, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Abb. 7 Oberflächen nach Laserbehandlung

Die erzielte Oberflächenstruktur ermöglicht eine gute Haftung der Metallschicht auf dem Substrat. Für alle getesteten Standard Epoxid-Formmassen ist die Haftung der Kupferschicht auf dem Substrat deutlich besser als im Vergleich mit LCP (Abb. 8).

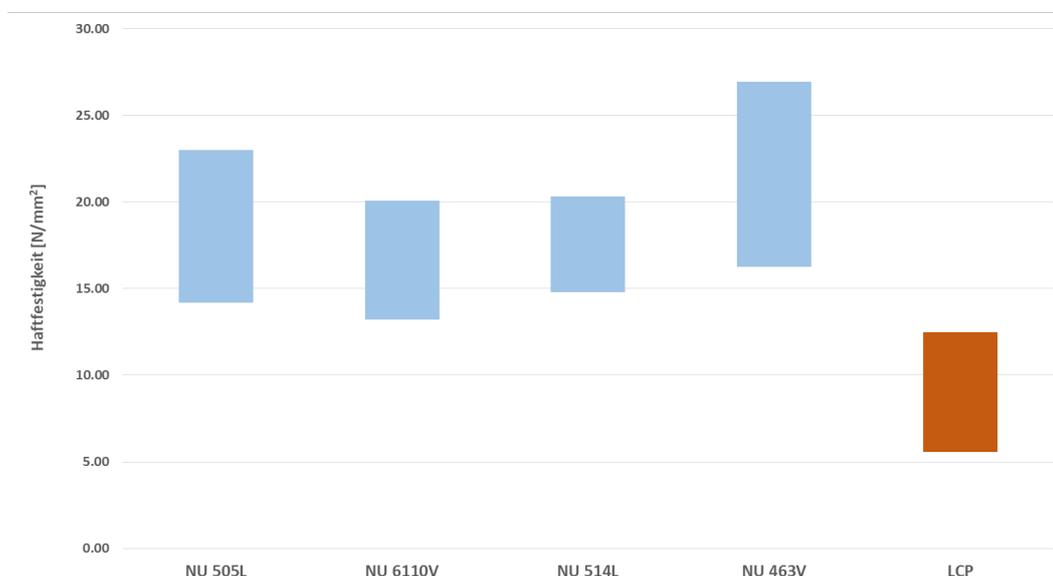


Abb. 8 Haftfestigkeit von Kupfer auf verschiedenen Substraten

Fazit

Epoxid-Formmassen eignen sich hervorragend für den Einsatz in der MID-Technologie. Aufgrund ihres strukturellen Aufbaues bieten sie viele der geforderten Eigenschaften schon von Haus aus. Die Möglichkeiten der Anpassung des Eigenschaftsprofils an unterschiedliche Bedürfnisse ist durch die Variationsmöglichkeiten mittels Harz, Härter, Füllstoffe und Additive sehr gross. Im Gegensatz zu Thermoplasten benötigen Epoxid-Formmassen keine Zugabe spezieller Additive, um die erforderliche Metallisierbarkeit der Laserstrukturen zu erzielen.

Die geringe Verarbeitungsviskosität ermöglicht die Ausbildung glatter, porenfreier Oberflächen, wie sie für die selektive Metallisierung erforderlich ist. Die erzielbaren Rauigkeiten und Haftfestigkeiten der Metallschichten sind mit den üblicherweise in der MID-Technik eingesetzten Thermoplasten mindestens vergleichbar, teilweise auch deutlich besser.

Das Fließ-/Härtungsverhalten der Epoxid-Formmassen erlaubt die schonende Umhüllung auch empfindlicher Bauteile. Dadurch eröffnen sich zusätzliche Möglichkeiten, weitere Funktionen in einem einzigen Bauteil zu integrieren.

Kontakt

Hans-Fred Buchmann
 Technischer Geschäftsführer
 Tel.: +41 61 726 62 20
 Mail: hans-fred.buchmann@duresco.ch