

TI 15/12: Grundlagen der chemischen Vernetzung von 2-Komponenten-Systemen

Ein Großteil der in der Leiterplattenfertigung und Elektrotechnik eingesetzten Lacke und Vergussmassen sind 2-Komponenten-Systeme. Diese Produkte sind nicht zuletzt wegen der Möglichkeit, sie je nach Anwendungsfall individuell anzupassen, auf dem Markt etabliert.

Diese „individuelle Anpassungsfähigkeit“ wird zum einen ermöglicht durch die hochentwickelte Chemietechnologie der Harzhersteller und zum anderen durch die ausgeklügelte Rezeptierung der Rohstoffe, so dass maßgeschneiderte, sogenannte „custom made“-Endprodukte zur Verfügung stehen. Nicht zuletzt aufgrund der langjährigen Erfahrung und der guten und intensiven Zusammenarbeit mit ihren Harzlieferanten, sind die Lackwerke Peters dazu in der Lage, diese Harzrohstoffe zu optimal verarbeitbaren Produkten mit herausragenden End Eigenschaften umzusetzen.

Ein weiterer großer Vorteil der 2-Komponenten-Systeme ist die Möglichkeit, bei unverändert guten Verarbeitungseigenschaften mit erheblich reduzierten Lösemittelgehalten und u. U. sogar mit lösemittelfreien Systemen arbeiten zu können.

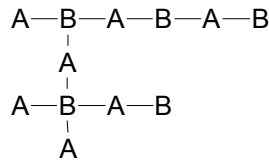
Diese TI erklärt den Begriff der Vernetzung allgemeinverständlich und zeigt an Hand einiger Beispiele auf, welche Vernetzungsarten von 2-Komponenten-Systemen in der Leiterplattenfertigung und Elektrotechnik in den meisten Fällen zum Einsatz kommen, so auch die unterschiedlichen Vernetzungsmechanismen der fotostrukturierbaren 2-Komponenten-Lötstopplacke der Reihe **Elpemer® 2467** und **2469**.

Vernetzung

Der Begriff „Vernetzung“ oder „Polymerisation“ beschreibt die chemische Polyreaktion von Grundbausteinen (-molekülen) zu einem Netzwerk von miteinander „verbundenen“ Molekülen/Grundbausteinen.

Stark vereinfacht kann man eine solche Vernetzungsreaktion mit einer Verknüpfung vieler kleiner Magneten zu einer Kette bzw. einem zwei- oder dreidimensionalen Netzgerüst von Magneten vergleichen.

Die hier angesprochenen Polymere sind in Bezug auf die genannten 2-Komponenten-Systeme zumeist Copolymere, d. h., häufig sind diese Grundbausteine nach der Vernetzung im alternierenden Wechsel angeordnet, was folgende Abbildung veranschaulicht.



Alternierende Grundbausteine der Vernetzung

Grundsätzlich werden die Endigenschaften eines Lackes oder einer Vergussmasse durch den Vernetzungsgrad der rezeptierten Reaktionsharze gegeben. So ist ein ausgehärteter Polymerwerkstoff, der eine hohe Zahl von „Verknüpfungspunkten“ in seinem Netzgerüst aufweist, z. B. wesentlich härter als ein entsprechendes Polymer mit wenigen „Verknüpfungspunkten“, das mehr elastische Eigenschaften aufweist. Ein hoher Vernetzungsgrad hat des Weiteren auch positiven Einfluss auf die chemische Beständigkeit eines Lackes/einer Vergussmasse.

Vernetzungsreaktionen

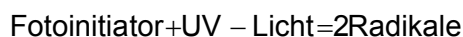
Für folgende Harze werden die Vernetzungsreaktionen im Detail vorgestellt:

- UV-reaktive Acrylatester/Polyacrylate
- reine Epoxidharze
- Epoxyacrylate oder epoxidierte Novolake (Dies sind die in **Elpemer®** eingesetzten Systeme)
- Polyurethane
- Silikonkautschuke.

Polyacrylate

Acrylatester oder acrylatesterhaltige Epoxidharze werden in fotostrukturierbaren und UV-härtenden Lacken eingesetzt. Der Vernetzungsmechanismus der Polyacrylate beruht auf dem Prinzip einer sogenannten „radikalischen Polymerisation“. In Verbindung mit geeigneten Fotoinitiatoren sind Acrylatesterharze sehr reaktiv, so dass schon energiereiche Strahlung (z. B. UV-Licht) ausreicht, um die Vernetzung in Gang zu setzen.

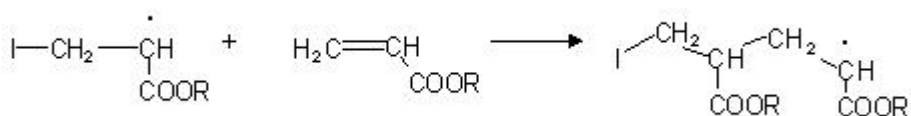
Vereinfacht kann man den Vernetzungsablauf wie folgt beschreiben:



Der Fotoinitiator wird durch UV-Licht entsprechender Wellenlänge homolytisch (d. h. in zwei gleiche Teile) gespalten



Ein „Fotoinitiatorradikal“ lagert sich an ein Acrylatestermolekül an



Die Molekülkette wächst durch weitere Anlagerung von Acrylatestermolekülen

Dieser Vernetzungsmechanismus wird, da er sich häufig wiederholen und vervielfachen kann, auch Kettenreaktion bzw. Radikalkettenreaktion genannt und wird erst dadurch gestoppt, dass

zwei Radikalmoleküle miteinander reagieren. Der große und wichtige Vorteil dieser Vernetzungsart ist dessen hohe Geschwindigkeit bei gleichzeitig geringem Energieeinsatz. Dieser Vernetzungsmechanismus entspricht auch der ersten Vernetzungsstufe der **Elpemer®** Lötstopplacke während des Belichtungsprozesses.

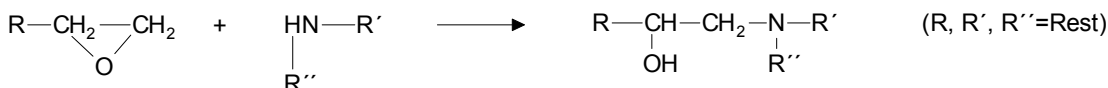
Epoxidharze

2-Komponenten-Lacke oder Vergussmassen auf Basis von Epoxidharzen werden aufgrund der hervorragenden Grundeigenschaften, wie hohe chemische und mechanische Beständigkeit, UV-Beständigkeit, hohe Kriechstromfestigkeit und gute Wärmeformbeständigkeit, häufig in der Leiterplattenherstellung und Elektrotechnik eingesetzt.

Die hohe mechanische Härte von Epoxidharzen und eine nicht unerhebliche Temperaturerhöhung bei der Aushärtung von kalthärtenden Epoxidharzen schränkt jedoch den Einsatz von Epoxidharzen als Vergussmassen ein.

Epoxidharze werden des Weiteren z. B. in fotostrukturierbaren und konventionellen Lötstopplacken, Signierlacken und Carbon-Leitlacken mit großem Erfolg eingesetzt.

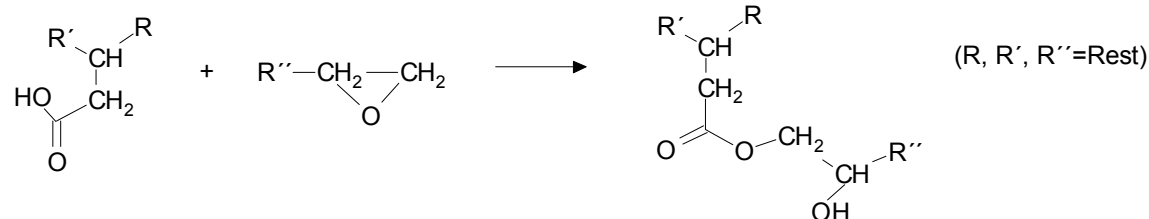
Da es sehr unterschiedliche Vernetzungsmechanismen der Epoxidharze gibt (kalt-, wärmehärtend usw.), wird vereinfacht jeweils die zweite Vernetzungsstufe, die Endhärtung, der in **Elpemer® 2467** bzw. **Elpemer® 2469** eingesetzten Harze dargestellt:



Zweite Vernetzungsstufe von Elpemer® 2469 (polyalkohol-entwickelbar)

Unter Voraussetzung, dass die hier mit „R“ gekennzeichneten Reste ebenfalls vernetzungsfähige Gruppen tragen, ist eine weitere Vernetzung des Epoxidharzes gut vorstellbar.

Auch die wässrig-alkalisch entwickelbaren **Elpemer®** Lötstopplacke erlangen durch die zweite, thermische Vernetzung ihre Grundeigenschaften. Parallel zu der oben beschriebenen Epoxidharzhärtung findet hier jedoch noch eine zweite Reaktion statt:



Zweite Vernetzungsstufe von Elpemer® 2467 (wässrig-alkalisch entwickelbar)

Auch im Falle dieses Schemas liegen in der vereinfachten Darstellung der Moleküle durch R (= Reste) vernetzungsfähige Gruppen vor, die einen hohen Vernetzungsgrad ermöglichen.

Gleichzeitig reagieren die polaren Carboxyl-Gruppen (-COOH), die die Löslichkeit des unbelichteten Lackes in Soda-Lösung gewährleisten, während der thermischen Härtung mit dem Epoxidharz und liegen daher nach vollständiger Verarbeitung des Lackes nicht mehr als solche vor. Somit können auch keine polaren Gruppen der Harze die dielektrischen Eigenschaften oder die Beständigkeit gegen Feuchte negativ beeinflussen.

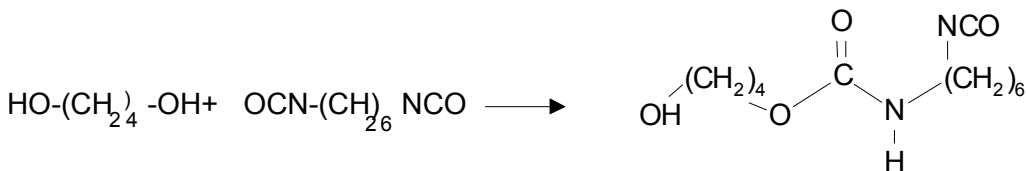
Epoxyacrylate oder epoxidierte Novolake

Die in den **Elpemer®** Lötstopplacken verwendeten Epoxyacrylate oder epoxidierten Novolake stellen eine chemisch vernetzte Kombination der vorab beschriebenen Acrylatester und Epoxidharze

dar. Das bedeutet, dass die für **Elpemer®** verwendeten Harze eine Acrylatestergruppe aufweisen, die während des Belichtungsprozesses, also der ersten Vernetzungsstufe, so weit vernetzen, dass der Lack im anschließenden Entwicklungsprozess stabil bleibt. Die zweite Vernetzungsstufe, die Endhärtung, die auf dem Prinzip der Epoxidharzhärtung beruht, wird durch Temperaturen von 140 °C bis 150 °C in Gang gesetzt und sorgt für die hervorragenden End Eigenschaften dieser Lacksysteme, wie etwa die sehr guten dielektrischen Eigenschaften, die hohe chemische und mechanische Beständigkeit und die Kompatibilität in den unterschiedlichen Finish-Prozessen.

Polyurethane

Polyurethane werden besonders häufig als Harzbasis in Vergussmassen eingesetzt. Für die Formulierung von Lacken/Vergussmassen bieten besonders die Polyurethanharze die Möglichkeit, die End Eigenschaften von zäh-hart bis sehr hochelastisch einstellen zu können. Daher empfiehlt sich der Einsatz von Polyurethanharzen besonders im Bereich der Vergussmassen für die Sensortechnik, wo Bauteile häufig sehr druckempfindlich sind. Im Vergleich zu den stets zäh-harten Epoxidharz-Vergussmassen bieten PUR-Vergussmassen weiterhin den Vorteil, dass sie während des Härtungsprozesses keine so hohe Wärmeentwicklung und praktisch keinen Volumenschwund aufweisen, wodurch sie besonders für das Vergießen elektronischer Bauteile geeignet sind, die keiner Schrumpfdruckbelastung und keiner Wärmeentwicklung ausgesetzt werden dürfen.



Vernetzungsmechanismus von Polyurethan

Wie aus dem Schema zu erkennen ist, sind die Grundbausteine difunktionell, d. h., beide Moleküle haben je zwei reaktive Gruppen. Daher kann nach einer Reaktion zweier Grundbausteine miteinander die Reaktion fortgeführt werden und zum Kettenaufbau führen. Grundbausteine mit mehr als zwei funktionellen Gruppen ermöglichen einen höheren Vernetzungsgrad und können zu Werkstoffen mit höherer mechanischer Härte verarbeitet werden.

Silikone

Silikone finden im überwiegenden Maße ihre Anwendung im Bereich der Vergussmassen und Schutzlacke. Die wohl wichtigsten Argumente für den Einsatz von Silikonem bzw. Silikonkautschuk in der Elektronik sind:

- die hervorragende Hitzebeständigkeit (bis 250 °C bei Silikonkautschukvergussmassen)
- die Dauerelastizität bei Hitze-, Kälte-, Witterungs- und UV-Strahlungsbelastung.

Insgesamt kann man daher sagen, dass das Eigenschaftsprofil des kaltvulkanisierenden Silikonkautschuks im Vergleich zu anderen elastomeren Werkstoffen in vielen Aspekten einzigartig ist.

Bei den kaltvulkanisierenden Silikonkautschuken (RTV = Raumtemperatur-vernetzende) muss man prinzipiell zwischen zwei verschiedenen Vernetzungstypen unterscheiden:

Kondensationsvernetzender Silikonkautschuk

Der Begriff „kondensationsvernetzend“ weist darauf hin, dass bei der Vernetzung dieser Harze ein Spaltprodukt entsteht. Damit ist auch schon ein spezifischer Nachteil dieser Produktgruppe angesprochen: Zum Einsatz in hermetisch gekapselten Gehäusen eignen sich kondensationsvernetzende Typen nicht, da die niedermolekularen Abspaltprodukte nicht entweichen und so zu einem Wiedererweichen (Reversion) des Vergusses führen können. Diese Silikonkautschuk-Typen werden als 1- oder 2-Komponenten-Systeme angeboten.

Zusammenfassung

Die wichtigsten Vernetzungsreaktionen der in der Leiterplattenfertigung und Elektrotechnik eingesetzten Lacke und Vergussmassen sind angesprochen worden.

Dieser - wenn auch recht oberflächliche - Blick auf die Chemie der Vergussmassen und Lacke deutet auch an, wieviel Entwicklungspotential hier noch gegeben ist, damit die Lacke und Vergussmassen der Zukunft noch „intelligenter“ werden, in stetig steigender Qualität bei gleichzeitig einfacherer Verarbeitung durch den Anwender.

Haftungsausschluss

Beschreibungen und Ablichtungen unserer Ware und Produkte in technischen Unterlagen, Katalogen, Prospekten, Rundschreiben, Anzeigen, Preislisten, Webseiten, Datenblättern, Informationsblättern, insbesondere die in dieser Druckschrift genannten Informationen, sind unverbindlich soweit ihr Einbezug in den Vertrag nicht ausdrücklich vereinbart wurde. Das gilt auch in Bezug auf etwaige Schutzrechte Dritter.

Die Produkte sind ausschließlich für die im jeweiligen Merkblatt angegebenen Anwendungen vorgesehen. Sie befreien den Kunden nicht von eigenen Prüfungen insbesondere im Hinblick auf ihre Eignung für die beabsichtigten Verfahren und Zwecke. Anwendung, Verwendung und Verarbeitung unserer Produkte und der aufgrund unserer anwendungstechnischen Beratung von Ihnen hergestellten Produkte erfolgen außerhalb unserer Kontrollmöglichkeiten und liegen daher ausschließlich in Ihrem Verantwortungsbereich. Der Verkauf unserer Produkte erfolgt nach Maßgabe unserer jeweils aktuellen Allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen.

Haben Sie noch Fragen?

Wir beraten Sie gerne und helfen Ihnen bei der Lösung Ihrer Probleme. Auf Anfrage senden wir Ihnen kostenlos Muster und Technische Druckschriften zu.

Lackwerke Peters GmbH & Co. KG
Hooghe Weg 13, 47906 Kempen, Deutschland

Internet: www.peters.de
E-Mail: peters@peters.de

Telefon +49 2152 2009-0
Telefax +49 2152 2009-70

peters
Coating Innovations
for Electronics