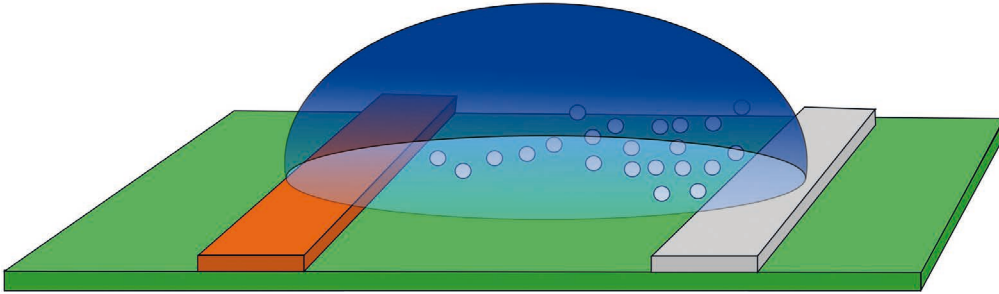


Elektrochemische Migration – ein Schädigungsmechanismus



Neben den am häufigsten genannten Schädigungsmechanismen „thermische Alterung“ und „Überspannungsimpulse“ gibt es etliche weitere Gründe, warum eine Isolation ausfallen kann. Eine eher unbekanntere ist die elektrochemische Migration. Dieser Schädigungsmechanismus gehört zu der Gruppe der Oberflächenphänomene.

Balance zwischen Anforderungs- und Eigenschaftsprofil

Die ständig steigenden Anforderungen in Hinsicht Packungsdichte, Leistungsdichte und Preiswertigkeit erfordern Maßnahmen, die eine Balance zwischen Anforderungsprofil und Eigenschaftsprofil darstellen. Dies insbesondere bei Einrichtungen der Telekommunikation-, Automobil- und Luftfahrtindustrie, da diese Baugruppen häufig stark wechselnden klimatischen Bedingungen ausgesetzt sind. Sie müssen hochzuverlässig und hochverfügbar sein, sollen aber dennoch als „Massenprodukt“ bezahlbar bleiben.

Das führt zu einem Zielkonflikt, der bei Auswahl falscher, vermeintlich günstiger Materialien die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls durch elektrochemische Migration erhöhen kann. Deswegen ist es wichtig, sich über Ursache und Folgen dieser Fehlerursache bewusst zu sein.

Kondensation von Wasser auf den Oberflächen

Insbesondere bei Tag-Nacht-Unterschieden oder intermittie-

rendem Betrieb kann es durch die Temperaturschwankungen zur Kondensation von Wasser auf den Oberflächen kommen. Selbst wenn sich kein direkter Wasserfilm bildet, können Kunststoffe (Schaltungsträger, Vergussmassen, Schutzlacke) Feuchtigkeit auch unterhalb des Taupunktes aufnehmen. Dieser Fall tritt je nach Material bereits bei etwa 70% relativer Feuchte auf. Insbesondere Metallflächen können wegen ihrer größeren Wärmeträgheit auch noch bei geringerer relativer Feuchte Betauung verursachen.

Ein häufig beschriebener Ausfallgrund für Isolierstoffe bei Anwesenheit von Feuchtigkeit ist die Ausbildung von Kriechstrompfaden. Bei Anwesenheit von Feuchtigkeit (Elektrolyt) wird durch ionische Verunreinigungen und Lösung von Kohlendioxid der Oberflächenwiderstand reduziert. Die elektrochemische Zersetzung des Isolationswerkstoffes und die Ausbildung von Teilentladungen führen zu einer zunehmenden Karbonisierung der Isolationsstrecke. Ist die Strecke durch diese leitfähigen Pfade ausreichend kurz, kann es zum Überschlag kommen. Der sogenannte Tracking-Index macht eine Aussage dazu, wie empfindlich ein Isolierwerkstoff gegenüber diesem elektrochemischen Abbauprozess ist.

Störender leitfähiger Pfad

Im Gegensatz dazu bildet sich bei der elektrochemischen Migration ein leitfähiger Pfad durch Metallionen und -salzen. Sie entstehen entweder als direkte Folge einer Betauung oder durch Adsorption/Absorption an/ in Isolierwerkstoffen oder an Verunreinigungen und in Fehlstellen. Insbesondere nicht abgereinigte Lötück-

stände können regelrechte Feuchtigkeitspuffer darstellen, die auch nach Abtrocknen der Oberfläche Feuchtigkeit speichern. Staub und andere Rückstände wirken als Kristallisationskerne für Kondensation.

In Folge von chemischem (Metalle gehen in alkalische Lösung) oder elektrochemischem Abbau (unterschiedliches Spannungspotential vorhanden) bilden sich wasserlösliche Metallionen, die sich entlang des Potentialgradienten und Konzentrationsgradienten bewegen. Der Potentialgradient wird maßgeblich durch die eingesetzte Spannung und den Abstand der Potentiale zueinander bestimmt. Der Konzentrationsgradient dagegen durch z.B. die Lage der Verunreinigung zu der Metallionenquelle. Bei Abtrocknung kommt es zur Rückfällung und bei wiederholter Betauung zur Aufkonzentration.

Liegt ein kontinuierlicher Potentialunterschied vor, bilden sich durch Elektrolyse an der Kathode (Ground) metallische Abscheidungen, die als Dendriten, Faserbündeln oder Bändern auftreten. Die Ausbildung solcher leitfähigen Beläge erfolgt am intensivsten an Stellen hoher Feldlinienkonzentration, also Kanten und Spitzen. Durch die Feldkonzentration werden auch Auswaschungseffekte erhöht und führen zu einer verbesserten Ionenleitfähigkeit. Die elektrochemische Migration innerhalb von Werkstoffen (z.B. entlang von Glasfasern) wird auch als Conductive Anodic Filament Growth (CAF) bezeichnet. Voraussetzung dafür ist das Eindiffundieren von Feuchtigkeit in das Substratmaterial.

Insbesondere die seit wenigen Jahren verstärkt eingesetzten hohen Gleichspannungen (300...450 und

750...1050 V) bei gleichzeitig weiter voranschreitender Miniaturisierung erhöhen die Gefahr einer elektrochemischen Migration von Metallionen. Im einfachsten Fall wird durch die Fehlerströme eine Störung detektiert und die Baugruppe abgeschaltet. Im schlimmsten Fall erhöht sich die Leitfähigkeit so lange, bis der unerwünschte Strompfad zur Zündquelle wird.

Prüfung der Klimasicherheit

Es gibt mehrere standardisierte Verfahren (z.B. IEC 60068, Umwelteinflüsse), wie man die Klimasicherheit von Baugruppen überprüfen kann. Da es neben den beiden Haupteinflussgrößen „Wärme“ und „Feuchtigkeit“ jedoch weitere geometrische (Abstände, Delaminationen, Feldlinienkonzentrationen) oder umweltbedingte (aggressive Gase, Verunreinigungen) und mechanische (Vibration, Wärmeausdehnung, etc) Einflussgrößen gibt, ist eine generelle Aussage zu der passenden Prüfmethodik kaum möglich. Eine beschleunigte Alterung durch Einsatz überhöhter Spannung, besonders hoher Luftfeuchtigkeit oder bewusster Einbringung von Verschmutzungen ist je nach Anwendungsfall nur bedingt aussagekräftig. Dagegen bilden beschleunigte Temperaturwechsel-Tests bei unterschiedlichen Feuchtgraden die realen Einsatzbedingungen häufig recht gut ab.

Fazit

Mit steigenden Gleichspannungsniveaus erhöht sich massiv die Gefahr der elektrochemischen Migration durch verstärkte Mobilisierung der Metallionen. Voraussetzung für diesen Schädigungsmechanismus ist Feuchtigkeit und eine ausreichend geringe Distanz der unterschiedlichen Potentiale zueinander. Damit ist gleichzeitig klar, wie man die Ausbildung von metallischen Leitpfaden vermeiden kann: Verhinderung, dass sich ein leitfähiges Elektrolyt (Wasser) ausbildet und/oder ausreichende Abstände, um über die Lebensdauer einer elektrischen Baugruppe eine sichere elektrische Trennung sicher zu stellen. ◀

Autor:

Gerald Friederici
CMC Klebetechnik GmbH
www.cmc.de