

Schutzlackierung von bestückten Leiterplatten

Neu produzierte und gereinigte bestückte Leiterplatten besitzen generell gute elektrische Kennwerte. Aber diese verschlechtern sich zusehends, bedingt durch die Aufnahme von Luftfeuchtigkeit, Verunreinigungen der Oberfläche mit leitfähigen Partikeln, Anziehen von Staubpartikeln auf Grund elektrostatischer Aufladungen, Kondensieren von Feuchtigkeit, usw. Zum Schutz vor solcher Art Einflüssen werden Leiterplatten, insbesondere für anspruchsvolle und spezifische Applikationen oft mit einem Schutzlack versehen, als letztem Arbeitsschritt.

Schutzlacke werden in der Regel durch Tauchlackierung und Sprühen/Spritzen auf Leiterplatten, typischerweise in einer Schichtdicke von 20 bis 50 Mikrometer, aufgebracht. Allerdings können Silikone und auch speziell designte sogenannte Dickschichtschutzlacke in einer Schichtstärke von typischerweise bis 100 Mikrometern appliziert werden. Zur Erstellung von Prototypen oder Kleinstserien könnte der Schutzlack auch gepinselt werden. Durch die aufgetragene Schutzlackierung wird ein Schutz vor Korrosion der Leiterbahnen, Lötunkte, etc. erreicht und die Bildung von Dendriten zwischen Kontakten und Leiterbahnen wird wirkungsvoll verhindert. Dies führt zu einer Verlängerung der Produktlebensdauer, einer Verbesserung der elektrischen Kennwerte und einer Erhöhung der Ausfallsicherheit. Der Einsatz von Schutzlacken ist besonders wichtig in den Bereichen Automotive - insbesondere für im Motorraum befindliche Baugruppen, aber auch militärische Anwendungen, die Luftfahrt und für den harten industriellen Einsatz, insbesondere in sicherheitskritischen Anwendungen und Bereichen.

Es sollte aber auch immer in Erinnerung bleiben, dass Schutzlacke ihre Grenzen haben. Jedwede Verunreinigungen, wie beispielsweise Fingerabdrücke, Flussmittelrückstände, Feuchtigkeit und atmosphärische Verunreinigungen, die unter der Schutzlackierung eingeschlossen werden könnten über lange Zeit Probleme machen. Leiterplatten sollten immer gereinigt und getrocknet werden, bevor sie mit einem Schutzlack überzogen werden, um die optimalen Kennwerte auf lange Zeit unter dem Schutzlack "einzufrieren". Selbst dann, wenn ein sogenanntes "no-clean" Flussmittel zum Einsatz kam, wird die Reinigung vor der Aufbringung des Schutzlacks die Kennwerte verbessern und die Ausfallsicherheit erhöhen. Schutzlacke sind nicht in jedem Fall der effektivste Schutz, wenn es einen langanhaltenden Kontakt zu Wasser gibt (ausgenommen Wasserdampf), insbesondere, wenn es leitfähige Partikel enthält. In solchen Fällen ist es im allgemeinen notwendig, auf eine geeignete Vergussmasse zurück zu greifen. Eine Vergussmasse wird in den allermeisten Fällen ein höheres Maß an Schutz bieten, als eine Schutzlackierung. Ein Verguss wird in der Regel teurer sein und wenn das Gewicht der Baugruppe ein entscheidender Punkt ist, muß dies mit bedacht werden.

Der ideale Schutzlack besitzt gute dielektrische Eigenschaften, eine geringe Feuchtigkeitsdurchlässigkeit, gute chemische Widerstandsfähigkeit und mechanische Strapazierfähigkeit. Er besitzt eine gute Haftung auf allen Leiterplattenmaterialien, wie dem Laminat, Lötstoplack, Kupfer, Lötstellen und den auf der Leiterplatte befindlichen Komponenten. In vielen Anwendungen sind die thermischen Eigenschaften wichtig, wie eine gute Flexibilität bei niedrigen Temperaturen, aber auch guter mechanischer Widerstandsfähigkeit bei hohen Temperaturen. Typische Tests für mit Schutzlack versehene Leiterplatten sind beispielsweise eine Bedampfung über einen langen Zeitraum, ein Salzsprühnebeltest, elektrische Tests unter schockartig oder zyklisch verlaufenden

thermischen Belastungen. Tests zur chemischen Widerstandsfähigkeit und der Flammwidrigkeit könnten ebenfalls durchgeführt werden, so erforderlich.

Von seiner Handhabbarkeit her sollte der ideale Schutzlack ein 1K (einkomponentiges) System sein (2K-Systeme sind recht unbequem in ihrer Handhabung), eine lange Bad-Standzeit ermöglichen, schon bei niedrigen Temperaturen aushärten bzw. trocknen und innerhalb möglichst kurzer Zeit berührungstrocken sein. Es können verschiedene Trockenzeiten angegeben werden - Berührungstrocken meint, dass der Lack problemlos und ohne ihn zu schädigen berührt werden kann - Durchtrocknen meint, dass alle im Lack enthaltenen Lösemittel und Verdüner diesen vollständig verlassen haben - Ausgehärtet meint, dass der Lack vollständig vernetzt ist. Bei Lösemittel enthaltenden Lacken läßt sich die Viskosität sehr einfach realisieren und so die für die jeweilige Lackieranlage optimale Viskosität einstellen. Dort wo lösemittelhaltige Schutzlacke verwendet werden, lassen sich durch den Einsatz von Lacken mit einem höheren Feststoffanteil die Lösemittel-Emissionen verringern und damit auch die Umweltprobleme.

Ein Defizit von konventionellen flüssigen Schutzlacken ist die Abdeckung von Kanten und vorstehenden "Kontaktbeinchen" von Komponenten. Auf diesen ist der aufgebrauchte Schutzlack wesentlich dünner und kann im ungünstigsten Fall sogar vollkommen fehlen. Dieses, durch das Zusammenspiel der Oberflächenspannungen bedingte Problem und die dadurch auftretenden Effekte sind bekannt. Zu weit aus Lötunkten vorstehende Kontaktbeinchen können eingekürzt werden. Auf runden Kontaktbeinchen von Komponenten ist die Haftung besser, als auf den flachen. Ein mehrfaches, dünnes übereinander Lackieren kann helfen, eine genügend dicke Lackschicht aufzubringen. Man sollte genau auf die optimale Viskosität achten. Electrolube hat einen speziellen Dickschichtschutzlack mit hohem Feststoffanteil im Programm - DCRT - der für eine Schichtdicke von ca. 100 Mikrometer designed ist. So läßt sich eine bessere Kantenabdeckung etc. realisieren, als mit anderen konventionellen Dünnschicht-Schutzlacken.

Schutzlacke werden unterteilt in verschiedene chemische Grundtypen. Diese sind:

Acrylschutzlacke, wie beispielsweise Electrolube's HPA oder APL, basieren fast immer auf einem thermoplastischen Acryl-Polymer, aufgelöst in einem Gemisch organischer Lösemittel. Als solches trocknet der Lack durch simples verdunsten der in ihm enthaltenen Lösemittel. Es findet keine Vernetzungsreaktion statt. Dies bedeutet auch, dass Acryl-Schutzlacke bei hohen Temperaturen weich werden können und sie können durch geeignete Lösemittel auf einfache Weise wieder entfernt werden, z.B. zu Reparaturzwecken. Gebräuchlicher Weise werden Lösemittel mit geringem Siedepunkt als Verdüner verwendet. Die verflüchtigen rasch und so ist der Lack innerhalb kürzester Zeit berührungstrocken. Da problemlos immer wieder verdunstetes Lösemittel in das (Tauch-)Bad nachgegeben werden kann, ist die Bad-Standzeit quasi unbegrenzt dehnbar. So läßt sich auch die Viskosität sehr einfach einstellen. Die Lösemittel sind brennbar. Außerdem kommen Lösemittel haltige Lacke auf Grund der restriktiven Umwelt-Gesetzgebung betreff der Emission von Lösemitteln in die Atmosphäre immer mehr unter Druck. Die Feuchtigkeitsbeständigkeit dieser Art von Schutzlacken ist recht gut, aber die Lösemittelbeständigkeit ist nur sehr eingeschränkt gegeben.

Epoxi-Schutzlacke sind meist sehr hart, oft undurchsichtig und besitzen eine exzellente Beständigkeit gegen Feuchtigkeit und Chemikalien im Allgemeinen. Sie werden für gewöhnlich als 2K(zweikomponentige)-Systeme designed, was sie

allerdings viel weniger anwenderfreundlich macht, als andere Schutzlacke. Durch die, während der Aushärtung stattfindende Vernetzungsreaktion, ist es in der Regel nicht möglich einen aufgetragenen Schutzlack wieder zu entfernen. Somit kann eine Reparatur an der schutzlackierten Leiterplatte durchaus zum Problem werden.

Urethan-Schutzlacke besitzen ähnliche Eigenschaften, wie die Epoxid-Schutzlacke, allerdings verbunden mit einer besseren Abrieb-Beständigkeit. Auch bei ihnen sind Feuchtigkeits-Beständigkeit und die Beständigkeit gegen Lösemittel gut, aber auf Grund der Vernetzungsreaktion ist ein wieder Entfernen nur sehr eingeschränkt möglich.

Silikone decken eine ziemlich breite Palette an verschiedenen Materialien mit ganz unterschiedlichen Eigenschaften ab. Konventionelle Silikone können vom robusten und abriebfesten Material bis hin zum weichen dehnbaren Schutzüberzug, was zur größtmöglichen Minimierung des mechanischen Stresses für die lackierte/vergossene Leiterplatte sorgt, reichen. Die Aushärtung kann sowohl durch Tempern, als auch ein Vulkanisieren bei Raumtemperatur erfolgen, üblicherweise durch eine Vernetzungsreaktion unter Aufnahme von Luftfeuchtigkeit. Silikon-Alkyd, wie Electrolube´s DCA, sind mechanisch belastbar und besitzen eine gute Balance in ihren Eigenschaften betreffend mechanischen-, chemischen- und elektrischen Eigenschaften. Durch ein Tempern läßt sich die Vernetzungsreaktion verstärken und die Materialeigenschaften so positiv beeinflussen und ein Maximum an Lösemittel- und chemischer-Beständigkeit erreichen. Im Vergleich mit anderen Typen von Schutzlacken, besitzen alle Silikon-Schutzlacke eine sehr gute Charakteristik bei hohen Temperaturen.

Auch andere spezielle Schutzlacke wurden entwickelt. Sogenannte UV-Schutzlacke können extrem schnell (inline) ausgehärtet werden, indem sie einer UV-Licht Bestrahlung ausgesetzt werden. Diese Schutzlacke sind überall dort von Nutzen, wo Großserien gefertigt werden. Bereiche unter Komponenten, welche nicht vom UV-Licht erreicht werden, härten aufgrund dieses sogenannten Schatten-Effekts nur sehr langsam aus. Hier greift dann ein zweiter integrierter Aushärteprozess. Eine Aushärtung unter Aufnahme von Luftfeuchtigkeit. Im Allgemeinen ist sicherlich zu sagen, dass die Materialeigenschaften der UV-Schutzlacke noch nicht so gut sind, wie der seit langem etablierten Lösemittel enthaltenden Schutzlacke.

Wasser basierende Schutzlacke wurden entwickelt, als Alternative zu bestehenden Schutzlacken mit hohem Anteil an Lösemitteln. Allerdings benötigen sie eine sehr lange Trockenzeit und bei zu großen Schichtdicken kann es zur Rissbildung kommen. Auch hier bestimmt das verwendete Basis-Harz ganz entscheidend die Leistungsfähigkeit des ausgehärteten Schutzlack.

Es existiert ein ganz bestimmter Beschichtungsprozess, der vollkommen anders ist, als alle zuvor beschriebenen. Dies ist der Parylen-Prozess, welcher ursprünglich durch die Firma Union Carbide entwickelt wurde. Eine Di-Para-Xylylen genannte Chemikalie wird unter Vakuum und bei etwa 650 Grad Celsius in seinen gasförmigen Zustand gebracht. Die Beschichtung wird im Vakuum durch Kondensation aus der Gasphase als porenfreier und transparenter Polymerfilm auf das Substrat aufgetragen. Dabei ist praktisch jedes Substratmaterial wie z. B. Metall, Glas, Papier, Lack, Kunststoff, Keramik, Ferrit und Silikone mit Parylene beschichtbar. Aufgrund der gasförmigen Abscheidung erreicht und beschichtet Parylene auch Bereiche und Strukturen, welche mit flüssigkeitsbasierten Verfahren nicht beschichtbar sind, wie z. B. scharfe Ränder und Spitzen oder enge und tiefe Spalte. In einem Arbeitsgang können Beschichtungsdicken von 0,1 bis 50 µm aufgebracht

werden. Der Beschichtungsprozess ist im Vergleich zu den anderen Prozessen sehr teuer. Modifikationen des Beschichtungsmaterials sind verfügbar.

Es existieren verschiedene Standards zur Schutzlackierung von bestückten Leiterplatten. Einige der wichtigeren sind IEC 61086-1/2/3, IPC-CC-830 und UL 746E. IPC-CC-830 hat sich aus der alten MIL-I-46058 Norm entwickelt und schließt diese jetzt mit ein. Die Britische Norm DEF-STAN 59-47 ist nicht länger gültig.

An dieser Stelle wäre es angebracht, einige der interessanteren Eigenschaften von Schutzlacken zu diskutieren - Eigenschaften, die in den technischen Datenblättern beschrieben werden. Die Testverfahren sind der IEC-Norm entnommen - IEC 61086 beschreibt drei Klassen von Schutzlacken welche vorgegebenen strikten Kriterien folgen. Diese Klassen sind: Allgemeine Anwendungen (Klasse 1), Hohe Zuverlässigkeit (Klasse 2) und Aerospace (Klasse 3).

Die Überschlagsspannung ist die elektrische Spannung, bei der ein Überschlag zwischen zwei parallelen Leiterbahnen auf einer genormten Y-Test-Leiterplatte stattfindet. Der Isolationswiderstand ist der ohmsche Widerstandsanteil zwischen elektrischen Leitern untereinander bzw. gegenüber dem Erdpotential. Die Bestimmung erfolgt mit Hilfe von Tests an kombinierten (verschachtelten) Y-Test-Leiterplatten. (siehe Abbildung 1) Die Flexibilität des Schutzlacks wird getestet, indem ein lackierter Kupferstreifen über ein 3 oder 6 mm Mandrel gebogen wird. Der Prüfling wird auf etwaige Risse u.ä. untersucht. Die Untersuchung des Schimmelpilz Wachstums erfolgt auf einer präparierten Glasplatte, die in der Mitte mit dem Lack beschichtet ist und dann in einer geeigneten Umgebung mit Schimmelpilzsporen beaufschlagt wird. Die Flammwidrigkeit wird getestet, indem ein Träger - in der Regel FR4 Material - lackiert wird und nach dem Aushärten entsprechend den UL Vorgaben beflammt wird und das Resultat entsprechend beurteilt wird.

Verschiedene weitere Tests zur Bestimmung der Widerstandsfähigkeit gegen Umwelteinflüsse können durchgeführt werden, indem man auf die normierte Y-Test-Leiterplatte(n) zurück greift. Dies beinhaltet thermische zyklische Tests und thermische "Schock" Tests innerhalb eines vorgegebenen Temperaturbereichs. Mit Hilfe eine visuellen Kontrolle läßt sich der Zustand der Beschichtung - ob es eventuell eine Ablösung des Lacks gibt - beurteilen. Auch werden diese thermischen Tests bei extrem hoher Luftfeuchtigkeit durchgeführt. Während dieser Tests wird der Isolationswiderstand der Y-Test-Leiterplatten gemessen. Er muß größer als 10^9 Ohm sein. Die Überschlagsspannung wird ebenfalls kontrolliert. Für Klasse 2 Schutzlacke wird ein Salzsprühnebeltest durchgeführt und für Klasse 3 Schutzlacke thermisch zyklischer Test unter extrem hoher relativer Feuchtigkeit und bei Unterdruck.

In technischen Datenblättern sind weitere Kennwerte für Schutzlacke zu finden. Die Durchschlagfestigkeit ist diejenige elektrische Feldstärke, welche in dem Material höchstens herrschen darf, ohne dass es zu einem Spannungsdurchschlag kommt. Der spezifische Durchgangswiderstand (auch Volumenwiderstand) wird durch einen Stromfluss in Querrichtung zur Oberfläche bestimmt, der spezifische Oberflächenwiderstand durch einen Stromfluss entlang der Oberfläche. Der Verlustwinkel beschreibt den Anteil der Wirkleistung elektrisch reaktiver Bauteile. Die relative Dielektrizitätskonstante (auch relative Permittivität) gibt die Durchlässigkeit eines Materials für elektrische Felder an, bezogen auf das Vakuum. Ein Schutzlack mit einer hohen relativen Dielektrizitätskonstante könnte auf HF-Baugruppen ungewollte kapazitive Effekte hervorrufen. Die Kriechstromfestigkeit

definiert den maximalen Kriechstrom, der sich unter genormten Prüfbedingungen (vorgegebene Spannung, Leitschichtmaterial) in einer definierten Prüfanordnung (Elektrodenabstand, Elektrodenform) einstellen darf.

Letztendlich wollen wir die Methoden und die verfügbaren Apparaturen zur Verarbeitung/Applizierung von Schutzlacken betrachten. Es gibt viele Lieferanten von Tauchlackieranlagen zur Verarbeitung von Schutzlacken. Das Spektrum in Bezug auf Ausstattung/Technologie und Preis ist mit Sicherheit recht breit. Im Tauchlackier-Prozess ist es sehr wichtig, die Geschwindigkeit, mit welcher die Leiterplatte aus dem Bad gezogen wird genau zu kontrollieren, denn sie hat entscheidenden Einfluss auf die Stärke der Lackschicht. Je langsamer die Geschwindigkeit, um so dünner ist die Lackschicht. Die Schichtdicke wird außerdem von Faktoren wie Viskosität, Feststoffgehalt und Temperatur des Lacks beeinflusst. Üblicherweise werden Leiterplatten vertikal getaucht. Allerdings sind höher entwickelte Anlagen auch in der Lage verschiedene Eintauchwinkel oder modifizierte Verfahren zu realisieren. Oft kommt es vor, dass gewisse Bereiche von Leiterplatten, wie z.B. Steckerleisten, nicht lackiert werden dürfen. Dies erfordert vor der Tauchlackierung eine Maskierung, die entweder mit Klebeband oder aber einer wieder entfernbaren Abdeck- und Schutzmaske realisiert werden kann.

In der jüngeren Vergangenheit gab es eine rasante Entwicklung im Bereich der Spritzmaschinen, die heute in der Lage sind die Leiterplatte zu lackieren, ohne dass die nicht zu lackierenden Bereiche abgedeckt werden müssen. Die Entwicklung führte zu verschiedenen speziellen Technologien, wie beispielsweise film coating und swirl coating. So kann heutzutage ein Vielzahl verschieden viskoser Materialien sehr präzise verarbeitet werden. Die Kombination dieser Lackieranlagen mit beispielsweise UV-Aushärtung oder IR-Ofen zu einer Fertigungslinie ermöglicht einen hohen Durchsatz, selbst bei kompliziert und komplex designten Leiterplatten.

Was hält die Zukunft für den Bereich der Schutzlacke bereit? Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist es schwierig die Leistungsfähigkeit der seit langem etablierten Lösemittel haltigen Schutzlacke mit den neueren Technologien in Vergleich zu bringen. Wir erwarten, dass der Druck zum Schutz der Atmosphäre vor dem weiteren Eintragen organischer Lösemittel, mit dem Effekt der weiteren globalen Erwärmung, der Schadstoffbelastung unserer Umwelt und Bildung von Smog weiter zunimmt. (Ein Artikel, der die mit den SED-Bestimmungen ist von Electrolube auf Anfrage verfügbar.) Dieser Druck von der Umweltseite wird dazu führen, dass das Eintragen von Lösemitteln in die Atmosphäre weiter zurück gehen wird und der Fokus auf die Entwicklung neuer Systeme (UV-aushärtende Lacke, Lacke auf Basis von Wasser) die keine oder wesentlich weniger Lösemittel enthalten und doch an die Leistungsfähigkeit der "alten" Lacke mit hohem Lösemittelanteil heran kommen, gelegt wird. Wir sehen klare Entwicklungsschritte hin zu Systemen mit hohem Feststoffanteil, bis hin zu lösemittelfreien Systemen.

J. F. Humphries