

Der Einsatz von Basismaterial aus PTFE/Glasgewebe

Es ist doch erstaunlich, in der Leiterplattenbranche häufig Aussagen wie folgt zu hören: „Wir setzen kein Teflon®-Basismaterial ein, da dieses nur sehr schwierig zu verarbeiten ist“; „Wenn Teflon®-Basismaterial wie FR4 zu verarbeiten wäre, dann ...“; „Die Oberflächenaufbereitung von Teflon®-Basismaterial ist zu kompliziert, zu teuer, zu unhandlich, zu ...“; „PTFE-Lamine sind zu teuer“; „Wir haben keine spezielle Linie für Teflon®-Schaltungen“; „Wir sind nicht für Sondermaterialien ausgelegt“; usw.

Was steckt eigentlich hinter diesen Aussagen? Sind sie berechtigt, oder beruhen sie auf Unsicherheiten bezüglich Basismaterial aus PTFE-Glasgewebe?

Blickt man nicht einmal zehn Jahre zurück, dann waren Basismaterialien auf PTFE (= Polytetrafluorethylen, Teflon®) tatsächlich Exoten, die nur begrenzt verfügbar waren, und die nur unter Schwierigkeiten verarbeitet werden konnten. Doch wurden vor allem in den letzten Jahren große Anstrengungen unternommen, diesen Mythos auszulöschen. In der Vergangenheit waren diese Basismaterialien vorwiegend dem Militärbereich vorbehalten, und daher auch nur in geringen Volumen benötigt. Doch seit der ersten großvolumigen kommerziellen Leiterplattenanwendung, LNBs für Satellitenantennen, hat sich die PTFE-Welt drastisch verändert.

Verarbeitung

PTFE wird im Konsumbereich als Anti-Haftbeschichtung eingesetzt, da es aufgrund der Molekularstruktur sehr inert ist. Nur durch drastische Mittel läßt sich dessen Oberfläche aufbereiten. Um in der Leiterplattentechnik eine Lochwandaufrauung von gebohrten PTFE/Glas-Basismaterial zur besseren Haftung der Durchmetallisierung zu erzielen, war dies bis vor wenigen Jahren nur durch eine Behandlung mittels Natriumnaphthalat möglich. Bei dieser chemischen Behandlung kann es bei unsachgemäßer Handhabung zur Knallgasexplosion von durch die Reaktion freigesetztem Wasserstoffgas kommen. Auch Abwasserbeauftragte eines Leiterplattenherstellers wünschen sich „bessere“ Chemikalien. Seitdem Plasmaätzenanlagen in der Leiterplattenfertigung eingesetzt werden, können die Lochwände abwasserfrei und umweltschonend aufbereitet werden. Da viele Leiterplattenhersteller auch flexible und/oder starr/flexible Leiterplatten fertigen, sind Plasmaätzenanlagen heute in der Branche weitverbreitet und müssen nicht speziell für Leiterplatten aus PTFE/Glasgewebe angeschafft werden. Plasmaätzzyklen entweder mit reinem Stickstoff, gefolgt von einer Spülung mit Sauerstoff, oder mittels Helium/Tetrachlormethan lassen Basismaterialien aus PTFE/Glasgewebe diesbezüglich zu einem ebenso problemlosen Material wie FR4 werden.

Um eine Lochwandaufbereitung durchführen zu können, muß das Basismaterial im Schritt zuvor gebohrt werden. Da PTFE im Vergleich zu FR4 sehr weich ist, bedarf es generell geänderter Bohrparameter, die sich jedoch für die jeweilige Basismaterialtype unterscheiden: Nicht mehr in der (z.Zt. für neue Designs inaktive) MIL-S-13949H abgedeckte Basismaterialien mit Dielektrizitätskonstanten von 2.95 – 3.50 sind sogar mit nahezu identischen Bohrparametern wie FR4 zu bohren: Schnittgeschwindigkeiten von ca. 140 m/min, mit im unteren Lochdurchmesserbereich höheren Vorschüben nehmen auch hier dem Leiterplattenhersteller die Unsicherheit des Unbekannten.

Sowohl Hersteller von Basismaterialien und Bohrern haben gemeinsam detaillierte Bohrparameter erarbeitet, so daß diese an den Bohrmaschinen nur noch eingestellt werden müssen. Die häufige Forderung nach FR4-Bohrbarkeit von Basismaterialien für Mikrowellenanwendungen zur angeblich einfachen Verarbeitung ist in der Praxis nicht umsetzbar. Es ist ein Mythos, daß sich Basismaterialien aus Duroplasten (d.h. warmhärtenden Kunststoffen) generell wie FR4 bohren lassen. Jedem Leiterplattenhersteller ist heute auch bewußt, daß sich nicht jedes FR4 gleich bohren läßt: Durch den Einsatz multifunktionaler FR4-Systeme mit höheren, jedoch

unterschiedlichen Glasumwandlungstemperaturen müssen je nach Basismaterialhersteller eventuell andere Bohrparameter gefahren werden. Auch wenn es nur geringfügig andere Werte sind, bedeutet dies andere Einstellungen an den Bohrmaschinen. Doch welchen Unterschied macht es beim Programmieren, eine Ziffer um den Wert 1 oder 10 zu ändern?

Damit sind die Hauptunterschiede zu FR4 bereits aufgeführt. Weitere Verfahrensschritte, wie Fotoresistverarbeitung, Ätzen, Durchmetallisieren, Aufbringen von Oberflächenschutz, usw. sind branchenüblich.

Basismaterialtype	Dielektrizitätskonstante bei 10 GHz	Toleranz	Dielektrischer Verlustfaktor bei 10 GHz
RF-35	3.50	± 0.07	0.0018 **
TLC	2.75; 3.0; 3.20	± 0.05	0.0030
TLE	2.95; 3.0	± 0.05	0.0028
TLT	2,45; 2.50; 2.55; 2.60; 2.65 *	± 0.04	0.0006 *
TLX	2,45; 2.50; 2.55; 2.60; 2.65	± 0.04	0.0019
TLY	2.17; 2.20; 2.33	± 0.02	0.0009
CER-10	10		0.0035

* bei 1 MHz

** bei 1.9 GHz

Tabelle 1: Basismaterialien aus PTFE/Glasgewebe (Dielektrizitätskonstante, dielektrischer Verlustfaktor)

Multilayer

Zur Herstellung von Multilayern gibt es je nach Anforderung mehrere Möglichkeiten: Reine PTFE-Multilayer sind nur durch Sintern bei hohen Temperaturen machbar. Sind auch im Bereich der Verbundfolien niedrige dielektrische Werte gefordert, dann läßt sich dies durch FEP- bzw. CTFE-Folien erreichen. Die weitaus häufigste Multilayervariante ist jedoch die des Hybridmultilayers, bei der PTFE/Glasgewebe mittels z.B. FR4-Prepregs mit entweder doppelseitigem FR4 oder einem FR4-Multilayer unter standardmäßigen FR4-Preßbedingungen verbunden wird (Abb. 1). Da bei diesen Multilayern die vollständig kupferkaschierte, jedoch oxidierte Seite von Basismaterial aus PTFE/Glasgewebe mit dem FR4-Prepreg verpreßt wird, erfolgt keine direkter Kontakt mit dem PTFE, so daß die Richtlinien für reine HF-Multilayer hier nicht zur Anwendung kommen.

Im Rahmen einer Gesamtkostenbetrachtung sind dadurch beträchtliche Kosteneinsparungen möglich: Anstelle von mehreren Digitalleiterplatten und einer HF-Leiterplatte, die alle durch Steckverbinder, Kabel, usw. miteinander verbunden sind, ist es hiermit möglich, alles auf einem Hybridmultilayer zu gestalten. Ein weiterer Vorteil ist der damit gewonnene Platzersparnis im Gehäuse. Neueste Designs gehen sogar teilweise dazu über, reine HF-Lösungen als PTFE/Glasgewebe-Einsätze in FR4-Leiterplatten zu gestalten.

Erzielte Vorteile sind mannigfaltig: Einsparungen an Steckverbindern, Kabeln, usw., um reine HF-Schaltungen mit Digitalisierungen zu verbinden, Platzersparnis, Steifigkeit des Multilayers, vor allem in Hinblick auf SMD-Bestückung, usw. Die PTFE-Basismaterialhersteller stellen dazu detaillierte Unterlagen zur Verfügung.

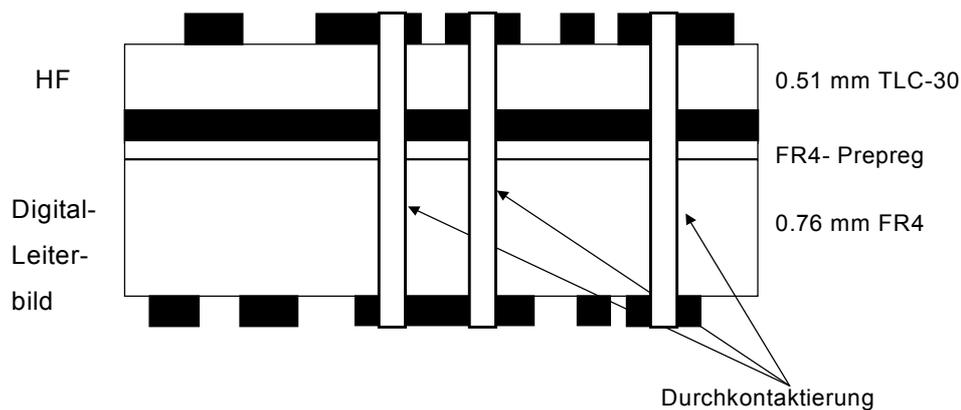


Abb. 1: 4-Lagen-Hybrid-Multilayer

Kann somit jeder Leiterplattenhersteller auch Basismaterial aus PTFE/Glasgewebe verarbeiten? Die fertigungstechnische Antwort lautet „JA“, wenn eine Plasmaätzenanlage bzw. eine Anlage für die Behandlung mit Natriumnaphthalat vorhanden ist. Von großer Wichtigkeit ist jedoch auch ein Verständnis der Funktion und des Verhaltens einer Leiterplatte im Mikrowellenfrequenzbereich.

Die Frage nach Verfügbarkeit von Basismaterialien aus PTFE/Glasgewebe ist einfach beantwortet: Durch eine ISO 9002 zertifizierte Basismaterialfertigung in Europa können Lieferzeiten von 5 Arbeitstagen eingehalten werden, die sich nur durch Einsatz von Sondermaterialien, wie z.B. Kaschierungen mit Walzkupfer, oder dickem Messing, Kupfer bzw. Aluminium ($\geq 0,80$ mm) verlängern. Es entstehen daher keine Lagerkosten für Importbestände mehr. Unter dem Stichwort „kritische Absicherung von Komponenten“ sollte nach Möglichkeit immer ein Zweitlieferant für ein System vorliegen. Für Basismaterialien aus PTFE/Glasgewebe besteht heute die Möglichkeit, Dual Sourcing aus einer Hand aufgrund von Fertigungsstätten in Europa und den USA zu haben, ohne daß eine kostenaufwendige Zweitqualifikation notwendig wird.

Basismaterial aus PTFE/Glasgewebe im Vergleich mit Duroplasten/Glasgewebe

Worin liegen die Vorteile durch den Einsatz von Basismaterialien aus PTFE/Glasgewebe im Vergleich zu Duroplasten (d.h. warmhärtenden Kohlenwasserstoffsystemen; wichtigster Vertreter: FR4)? Es ist ja heute durchaus möglich, auch mit glasfaserverstärkten Duroplasten anderer Systeme als FR4 Dielektrizitätskonstanten von 3.5 – 4.0 zu erzielen. Bei der Betrachtung des Imprägnier- und Preßprozesses von Basismaterial sind die Vorteile einleuchtend, wenn man das Verhalten von Thermo- und Duroplasten kennt: Ein Duroplastharz benötigt ein Härter-/Beschleunigersystem, um nach dem Imprägnieren des Glasgewebes als Prepreg im teilausgehärteten Zustand vorzuliegen. Diese Teilpolymerisierung erfolgt unter Einwirkung von Temperatur in der Lackiermaschine. Aus diesem Grunde können die Glasgewebe nur einmal den Imprägnierprozeß durchlaufen. Große Anstrengungen sind in den letzten Jahren unternommen worden, um Harzgehalt- und Harzflußschwankungen über die Lackiermaschinenbreite, d.h. Glasgewebebreite in der Lackiermaschine, zu reduzieren. Mittels Schmelzviskositätseinstellungen kann heute bei FR4-Systemen das Fließverhalten von Prepregs in der Laminatpresse gleichmäßiger gesteuert werden, jedoch fehlt bei anderen Duroplastsystemen die volumenbedingte Aussagegenauigkeit, insbesondere bei Neuentwicklungen. In der Presse schmilzt das Harz der Prepregs unter Temperatureinwirkung wieder auf, um dann vollständig auszuhärten. Der dabei auftretende Harzfluß entlang der Kanten des Basismaterials führt dazu, daß immer ein gewisses Keilprofil über die Basismateriallänge bzw. -breite zu beobachten ist, das mit zunehmender Basismaterialdicke zunimmt, insbesondere wenn dicke Glasgewebe wie z.B. 7628 verwendet werden.

Im Vergleich zu dem soeben beschriebenen Verhalten von Duroplasten verhalten sich Thermoplaste, wie z.B. PTFE, ganz anders: Glasgewebe werden zwar in einer Lackiermaschine ähnlich wie mit FR4-Harz beschichtet, doch dann zeigen sich die Vorteile von PTFE: Bedingt durch die niedrige Viskosität der wäßrigen PTFE-Dispersion muß ein Glasgewebe für Basismaterial durchschnittlich 5 – 6 mal durch die Lackiermaschine laufen, um einen ausreichenden Harzauftrag zu erfahren. Da PTFE keinem Aushärtemechanismus unterworfen ist, kann eine Lackierung theoretisch beliebig oft erfolgen. Durch die weitaus langsamere Lackiergeschwindigkeit und die Mehrfachimprägnierung erfolgt eine sehr gleichmäßige Harzbeauftragung des Glasgewebes. Harzflußschwankungen über die Lackiermaschinenbreite können bei Thermoplasten nicht auftreten, da es keinen Fließmechanismus gibt. Dieser Vorteil wird beim Verpressen ebenso deutlich festgestellt: Da bei Preßtemperaturen > 360 °C lediglich ein Aufschmelzen und Sintern ohne Harzfluß erfolgt, weisen Basismaterialien aus PTFE/Glasgewebe eine sehr exakte Dickenverteilung auf, ohne daß eine Verjüngung zum Rand einer Tafel hin beobachtet wird. Die aufgeführten Dickentoleranzen in der nach wie vor angewandten MIL-S-13949H belegen dies (Tabelle 2). Es ist sogar deutlich ersichtlich, daß die Dickentoleranzklasse IV für PTFE/Glas-Lamine wesentlich engere Toleranzen fordert, als selbst in der eingeschränkten Toleranzklasse III für glasgewebeverstärkte Duroplaste gelten.

Dicken und Toleranzen für Lamine 1) (MIL-S-13949H) Thickness and Tolerances for Laminates (MIL-S-13949H)			
Nominal Thickness of base mat. Without cladding	Class II reinforced +/- Inch (mm)	Class III (2) reinforced +/- Inch (mm)	Class IV GR, GX, GY +/- Inch (mm)
Inch (mm)	Inch (mm)	Inch (mm)	Inch (mm)
.0010 - .0045 (0.025 - 0.11)	.0007 (0.018)	.0005 (0.013)	-
.0046 - .0065 (0.12 - 0.16)	.0010 (0.025)	.0007 (0.018)	- 3)
.0066 - .0120 (0.17 - 0.30)	.0015 (0.038)	.0010 (0.025)	.0075 (0.019)
.0121 - .0199 (0.31 - 0.51)	.0020 (0.051)	.0015 (0.038)	.0010 (0.025)
.0200 - .0309 (0.51 - 0.78)	.0025 (0.063)	.0020 (0.051)	.0015 (0.038)
.0310 - .0409 (0.79 - 1.03)	.0040 (0.102)	.0030 (0.076)	.0020 (0.051)
.0410 - .0659 (1.04 - 1.65)	.0050 (0.127)	.0030 (0.076)	.0020 (0.051)
.0660 - .1009 (1.66 - 2.54)	.0070 (0.178)	.0040 (0.102)	.0030 (0.076)
.1010 - .1409 (2.55 - 3.56)	.0090 (0.229)	.0050 (0.127)	.0035 (0.089)
.1410 - .2500 (3.57 - 6.35)	.0120 (0.305)	.0060 (0.152)	.0040 (0.102)

1) Der Toleranzwert ist durch die nominale Basisdicke (ohne Kaschierung) angegeben. Die Toleranz wird über das Substrat plus Kaschierung ohne zusätzlich erlaubte Toleranz für die Kaschierung angewandt.

Tolerance value is determined by the nominal base thickness (less cladding). Tolerance is applied over the base plus cladding with no additional tolerance for cladding thickness allowed.

2) Diese eingeeengten Toleranzen sind für die meisten Materialtypen nur durch Produktselektierung erhältlich.

These tighter tolerances are available only through product selection on most material types

3) Für einige Basismaterialtypen sind Lamine unterhalb gewisser Basisdicken nicht durch diese Spezifikation abgedeckt. Kerndicken der Typen GT, GX und GY sind z.B. unterhalb .010 " (0.254 mm) nicht abgedeckt (Amendment 2, Feb 29, 1996).

For some base material types, laminates below certain base thickness may not be producible, e.g. types GT, GX and GY under .010 inch (0.25 mm) core thickness may not be available (Amendment 2, Feb 29, 1996).

Table 2: Thickness Tolerances acc. to MIL-S-13949H

Warum ist diese exakte Dickenverteilung von Basismaterial für die HF- und Mikrowellentechnik von so großer Wichtigkeit? Die Dickenverteilung in einem Verbundwerkstoff aus Harz/Glasgewebe hat eine Auswirkung auf die Gleichmäßigkeit der Dielektrizitätskonstante und des dielektrischen Verlustfaktors. Da Mikrowellen-Leiterplatten größtenteils aktive Bauteile sind, führen Schwankungen der dielektrischen Eigenschaften zu Beeinträchtigungen der Leistung.

Ein weiterer Vorteil von Basismaterialien aus Thermoplasten, wie PTFE, über Duroplaste für den Mikrowelleneinsatz liegt in der interlaminaren Haftung und daher auch in der Kupferhaftfestigkeit. Jedem Entwickler und Leiterplattenhersteller ist die hohe Haftfestigkeit von FR4 bekannt, aber auch, daß andere Harzsysteme weitaus geringere Werte ausweisen, wie in der MIL-S-13949H anerkannt wird. Jeder weitere Zusatz zu einem Harzsystem, wie z.B. durch Füllstoffe, führt automatisch zu einer weiteren Verringerung. Basismaterialien aus PTFE/Glasgewebe weisen dagegen auch bei 17,5 µm-Kupferkaschierung noch Mindesthaftfestigkeiten von 1,8 N/mm auf.

Aufgrund der Molekülstruktur von PTFE wird nur eine minimale Wasseraufnahme von < 0,02 % beim Basismaterial beobachtet- Mikrowellenlamine aus anderen, duroplastischen Harzsystemen weisen dagegen einen mehrfachen Wert auf. Der Einfluß von Feuchte auf sowohl elektrisches Verhalten (Impedanz) wie auch auf Bestückung (Trocknung, Delamination) ist weitgehend bekannt und bedarf keiner weiteren Erklärungen.

In kommerziellen Anwendungen spielt eine Brennbarkeitsklasse V-0 gemäß UL94 eine große Rolle. Basismaterialien aus PTFE/Glasgewebe weisen die geforderten Werte ohne zusätzliche Flammenschutzmittel auf. Basismaterialien für Mikrowellenanwendungen aus Duroplastharzen müssen größtenteils mit Flammenschutzmitteln versehen werden unter Beeinträchtigung anderer Eigenschaften, wie z.B. Kupferhaftfestigkeit, oder erreichen bei kleinsten Materialdicken keine V-0 Werte.

Zusammenfassung

Der Mythos eines Exoten haftet Basismaterialien aus PTFE/Glasgewebe heute nicht mehr an. Abgesicherte Herstellung und definierte Weiterverarbeitung zu Leiterplatten sind die Garanten dafür. Rasante Wachstumsraten im Bereich hoher Frequenzen verlangen eine Materialverfügbarkeit mit in langjähriger Praxis erprobtem Verhalten, die beide bei PTFE/Glasgewebe gegeben sind.

Galvanotechnik 89(1998)6