

1. Kapitel / Arnold Wiemers

Was unsere Welt zusammenhält

Die Eigenschaften von Basismaterialien für elektronische Baugruppen

Was ist "Basismaterial"?

Die einzelnen Bestandteile eines typischen Basismaterials sind : Klebstoff, Trägermaterial und Leitschicht. Beim **FR4**, dem mit Abstand meistgenutzten Basismaterial, besteht der Klebstoff aus Epoxydharz und das Trägermaterial aus verdrehten Glasfibrillen, die zu einem Glasgewebe verwoben sind.

"FR" steht für "Flame Retarding" und weist damit auf die unverzichtbare flammhemmende Eigenschaft des Materials hin. Die "4" steht für einen bestimmten FR-Typus. Es gibt auch die Typen "FR2" und "FR3", die heutzutage kaum noch in Benutzung sind, und "FR5" mit einer höheren Temperaturbelastbarkeit als "FR4".

Prepregs und Laminare

Bei der Herstellung von FR4-Basismaterial wird zuerst das Glasgewebe mit dem Epoxydharz getränkt. Das Ergebnis sind "Prepregs", ein Kunstwort, das für "**Preimpregnated**" steht und darauf hinweisen soll, daß die Epoxydharzmatrix zwar angetrocknet aber noch nicht ausgehärtet ist. Jedes Prepreg besteht aus genau einem Glasgewebetyp, der mit einer Nummer angegeben wird, zum Beispiel "106", "1080", "2116" oder "7628". Früher war diese Typenbezeichnung mit Bezug auf die Prepregdicke sehr verbindlich. Das 106er war ca. 50µm dick, das 1080er ca. 60µm, das 2116er ca. 115 und das 7628er ca. 180µm.

Die neuzeitliche Forderung nach einem sicheren aber auch kostengünstigen Verpressen von Multilayern hat zu diversen Prepregvarianten geführt, die sich in der Dicke der Harzbeschichtung unterscheiden. Es gibt weiterhin die Prepregs mit Standardharzgehalt aber jetzt auch mit mittlerem und hohem Harzgehalt. Die üblichen Kennungen sind dann "**SR**" für "Standard resin", "**MR**" für "Medium resin" und "**HR**" für "High resin". Inklusiv aller Fertigungstoleranzen kann die Dicke eines sogenannten 1080er-Prepregs neuerdings zwischen 56µm (= SR-Variante, untere Toleranz) und 84µm (= HR-Variante, obere Toleranz) schwanken.

Prepregs sind die *eine* Komponente für den Aufbau eines Multilayers. Die *andere* Komponente sind die **Laminare**, auch "Kerne" oder "Cores" oder "kupferkaschiertes Material" genannt. Für die Fertigung eines Laminats werden ein oder mehrere Prepregs ein- oder beidseitig mit Kupferfolie belegt und verpreßt (Bild 1-1).

Die Dicke des fertigen Laminats ergibt sich durch die Kombination der eingesetzten Prepregs. Umgangssprachlich sind "Dünnlaminare" mit Dicken zwischen 0.05mm und 0.86mm, und "Dicklaminare" mit Dicken zwischen 0.90mm und 3.2mm verfügbar. Die Dicke der Kupferkaschierung kann 5, 9, 12, 17, 35, 70, 105, 210 oder 420µm betragen.

Mit diesen Kupferdicken ist ursächlich keine direkte physikalische Eigenschaft verknüpft.

Die Bezeichnungen kommen historisch bedingt aus dem angloamerikanischen Sprachraum und sind lediglich ein Vielfaches oder ein ganzzahliger Teiler von 1 Unze (= 35µm).

Über diesen Bezug erklärt sich übrigens auch die klassische Leiterplattendicke von 1.50mm.

Sondermaterialien

Inzwischen gibt es Hunderte von Basismaterialien, die spezielle Eigenschaften für spezielle Anwendungen bieten. Durch andere Klebstoffe wie Cyanatester oder Polytetrafluoräthylen und durch andere Füllstoffe und Trägermaterialien wie Keramik, Polyimid oder diverse Kohlenwasserstoffe werden besondere Leistungen des Basismaterials bei hochfrequenten oder bei temperaturbelasteten Anwendungen erreicht.

Die Sondermaterialien liegen nicht in den vielen unterschiedlichen Dicken vor, wie dies bei FR4 der Fall ist.

Für viele Sondermaterialien gibt es keine eigenen Prepregs. Zudem sind Sondermaterialien oft erheblich teuer als FR4. Wenn die Anwendung das erfordert, dann ist es deshalb üblich, Hybrid-Multilayer zu bauen, die teils aus Sondermaterial und teils aus FR4 bestehen.

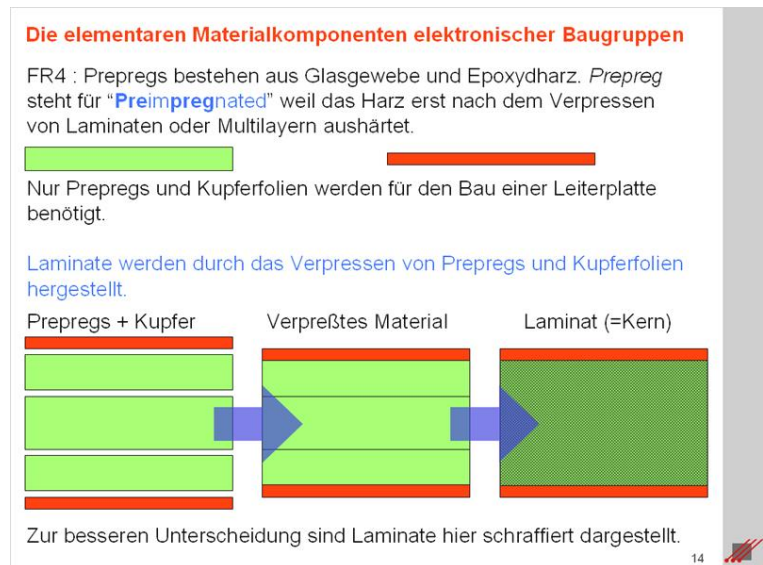


Bild 1-1 Prepregs und Kupferfolien sind die Rohstoffe der Elektronik. Laminare sind bereits abgeleitete Produkte

Technische Eigenschaften von FR4

Die absehbare Zukunft gehört dem FR4 und seinen Derivaten. Das Material ist stabil, die Isolation ist zuverlässig, das dielektrische Verhalten ist brauchbar, die Kosten sind akzeptabel, die Verarbeitung ist etabliert und die Hitzebeständigkeit ist tolerabel.

Die Derivate werden im Wesentlichen durch eine Modifikation der Epoxydharzmatrix erzeugt. Im Sog der Umstellung auf bleifreie Elektronik (~ RoHS) ist es üblich geworden, einen Teil des Harzvolumens gegen mineralische Füllstoffe auszutauschen. Damit wird die temperaturbedingte verstärkte Z-Achsen-Ausdehnung der Leiterplatte hinausgezögert (Kenngröße $CTE(z) = \text{"Coefficient of thermal expansion"}$).

In Folge der höheren Temperaturbelastbarkeit reduziert sich die Wahrscheinlichkeit, daß die Leiterplatte während der Baugruppenproduktion beim Löten Schaden nimmt.

Man spricht dann von "FR4 mit einem höheren Tg-Wert" oder auch von "Hoch-Tg-Material".

Der Standardwert für FR4 liegt bei 130°, höhere Tg-Werte sind 150° oder 175°, je nach Materialhersteller. Allgemein wird "Tg" etwas irreführend mit "Glasumwandlungstemperatur" übersetzt. Gemeint ist aber, daß das Epoxydharzgefüge ab Erreichen des Tg-Wertes weich und elastisch wird und daß demzufolge die Z-Achsen-Ausdehnung erheblich zunimmt.

Fehlerereignisse sind dann Risse der kontaktierten Vias und/oder Abrisse der innenliegenden Leiterbahnen von den Viahülsen.

Es können auch Delaminationen auftreten, die zu einer partiellen Auflösung des verpreßten Materialverbundes führen. Die Folge ist üblicherweise ein Ausfall der Baugruppe.

Ein höherer Tg-Wert erhöht die Dauerbetriebstemperatur einer Baugruppe nicht. Die Dauerbetriebstemperatur ist im Wesentlichen von der Epoxydharzmatrix abhängig und sollte bei FR4-Material 95° bis 100° nicht überschreiten.

Eine weitere Kenngröße ist der Td-Wert. "Td" steht für "Decomposition Temperature" und beschreibt den Temperaturwert, bei dem das Material 5% seiner Masse durch Ausgasen/Verdampfen verloren hat.

Seit Einführung der SMD-Technologie haben die Anforderungen an das Basismaterial zugenommen. Die Reduzierung der Bauformen für SMD-Bauteile führt auch zu einer Reduzierung der SMD-Flächen auf der Leiterplatte, weil sonst ein zuverlässiges Löten nicht möglich ist (i.e. verdrehte Bauteile, Tombstoning).

Wenn ein SMD-Pad kleiner wird, dann wird auch die Grundfläche kleiner, mit der dieses Pad auf der Leiterplatte haftet. Einfache mechanische Belastungen, Vibration und Brems- oder Beschleunigungskräfte können zu einem Abriß des Bauteiles führen.

Das Reflowlöten reduziert die Haftung zwischen SMD-Pad und Leiterplatte zusätzlich um bis zu 75%, je nach Basismaterialtyp, Leiterplattenoberfläche und Anzahl der Reflowzyklen.

Leider führen die Maßnahmen zur Erlangung eines hohen Tg-Wertes im Gegenzug oft zu einer Reduzierung der Kupferhaftung. Man findet bei Standardmaterial Abzugskräfte von zirka 2 N/mm, die bei Hoch-Tg-Material auf bis zu 0.8 N/mm absinken können.

Die Dokumentation des eingesetzten Materials

Die neuen integrierten Bauteilkomponenten zeichnen sich durch eine extrem schnelle Flankenanstiegszeit im Bereich um 0.3ns aus, Tendenz fallend. Komplexere FPGAs werden im Niedrigvoltbereich betrieben mit Spannungspegeln, die bei 1V5 liegen.

Der sichere Betrieb von Baugruppen mit solchen Komponenten ist nur dann zuverlässig, wenn die Leiterplatte das geeignete Umfeld mit definierten physikalischen Eigenschaften liefert.

Um die Aspekte der **EMV** und der **Powerintegrität** bedienen zu können, müssen Prepregs und Lamine mit Dicken von 50µm zur Verfügung stehen.

Die schnelle und störungsfreie Signalverarbeitung erfolgt zunehmend per LVDS (= **Low Voltage Differential Signaling**). Um eine funktionierende **Signalintegrität** zu gewährleisten, muß ein geeigneter Lagenaufbau möglich sein und die Qualität der eingesetzten Basismaterialien muß stimmen (Bild 1-2).

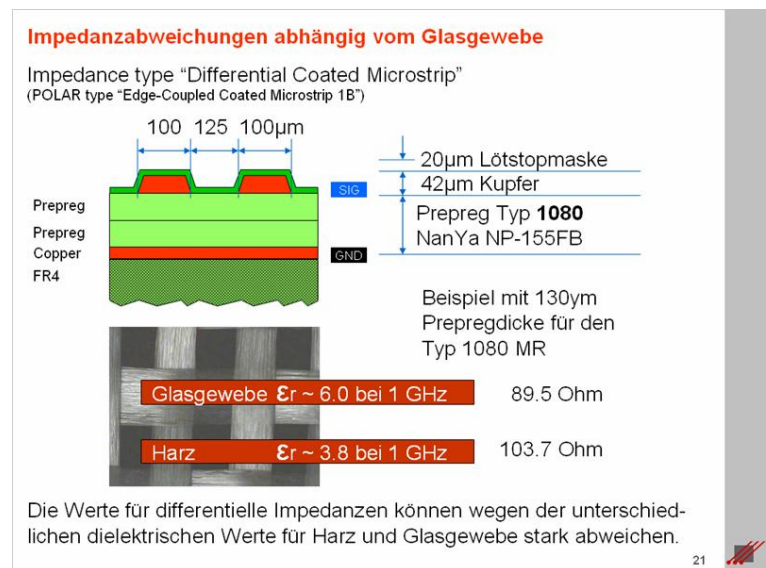


Bild 1-2

Abweichende physikalische Eigenschaften eines differentiellen Leiterbahn-paares durch ungeeignetes Basismaterial

Diese Aufgabe ist seitens der Leiterplattentechnologie nur durch die überlegte Geometrie des Lagenaufbaus lösbar. Das bedeutet natürlich, daß die erforderlichen Prepreg- und Laminatdicken verfügbar sein müssen.

Damit die Impedanzeigenschaften der Leiterbahnen definiert werden können, müssen die am CAD-System gerouteten Leiterbahnbreiten auf die prozessierbaren Kupferschichtdicken abgeglichen werden können. Dazu ist die Kenntnis der dielektrischen Eigenschaft und des Verlustfaktors inklusive der materialtypischen Toleranzen notwendig.

Zum Variantenreichtum der Basismaterialien gesellt sich die individuelle Bevorzugung von Materialien und Prozeßstrategien seitens des jeweiligen Leiterplattenherstellers.

Der Entwurf eines Multilayers im Vorfeld einer Schaltungsentwicklung durch den Laien kann deshalb erstmal nur den Charakter eines Vorschlages haben. Die verbindliche Lagenaufbaubeschreibung mit der Angabe der diskret verfügbaren Materialien und mit der Berechnung der erforderlichen physikalischen Eigenschaften muß durch einen Fachmann erfolgen. Da es nur wenige externe Experten gibt, empfiehlt es sich, erstmal bei seinem Leiterplattenhersteller nachzufragen.

Der verbindlich in einen Multilayerlagenaufbau umgesetzte Vorschlag muß alle wichtigen Kenngrößen zum Basismaterial enthalten: Welche Prepregs und welche Lamine werden eingesetzt (Dicke, Harzgehalt, Epsilon-R, Tangens Delta, Tg, Z-Achsen-Ausdehnung, Abzugskraft), welche Impedanzwerte finden sich für eine definierte Kupferdicke und für eine definierte Leiterbahnbreite und welche Gesamtdicke hat der Multilayer (empfohlen sind maximal +,-6% Dickentoleranz).

Diese Informationen müssen aussagefähig dokumentiert sein.

Die Beschreibung der eingesetzten Materialien muß vor dem Abschluß des Schaltplankonzeptes vorliegen.

Wie sonst sollte eine Funktionssimulation möglich sein, wenn wichtige Parameter für die entsprechenden Softwareprogramme fehlen?

Mit der Layoutarbeit müssen die Materialparameter in das CAD-System importiert werden können.

Die damit festgelegten Constraints (= Vorgabewerte) sind eine wichtige Unterstützung während der Erstellung des CAD-Layoutes.

Die Informationen zu den Eigenschaften der verbauten Basismaterialien

sind für den Baugruppenproduzenten ebenfalls von großem Wert. Er kann seine Lötprofile auf die Kupfervolumina und die Temperaturbelastbarkeit der in der Leiterplatte verbauten Basismaterialien optimal anpassen (Bild 1-3).

Nicht zuletzt sorgt die dokumentierte Beschreibung der Basismaterialeigenschaften einer Leiterplatte/eines Multilayers für eine reproduzierbare Produktion und führt zu elektronischen

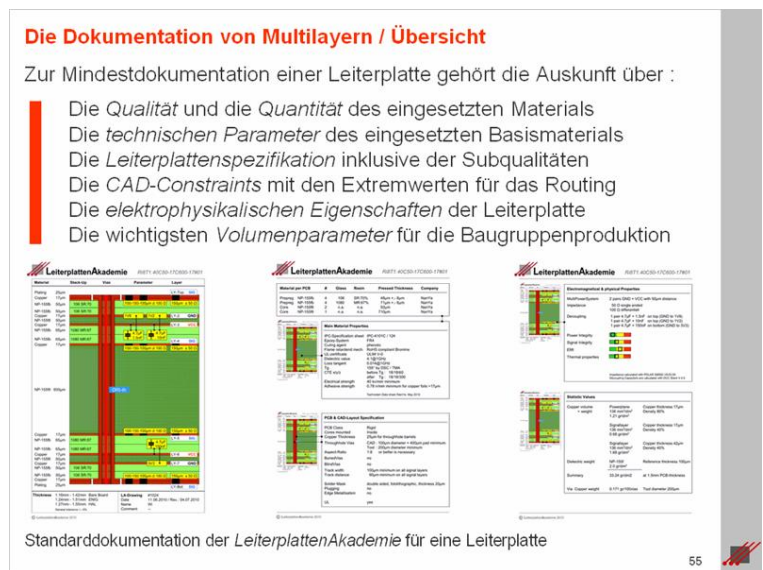


Bild 1-3 Eine aussagefähige Dokumentation der eingesetzten Basismaterialien in Graphik und Text

Baugruppen gleicher Qualität. Dies ist insbesondere von Vorteil, wenn der Übergang vom Prototypen zur Serie oder vom inländischen zum ausländischen Leiterplattenlieferanten sichergestellt sein soll.

Hinweis

Informieren Sie sich über die technische Qualität von Basismaterialien im Internet oder durch ein Gespräch mit Ihrem Leiterplattenhersteller. Nutzen Sie die physikalischen Eigenschaften von Basismaterialien für Ihr Schaltungskonzept. Sorgen Sie durch eine korrekte Dokumentation des eingesetzten Basismaterials für eine durchgehend hohe Produktqualität Ihrer Baugruppe.

