

# Hybrid-Multilayer – Die kostengünstige Lösung für erhöhte Packungsdichten

Dipl.-Ing. (FH) Manfred Huschka, Taconic ADD, Mullingar (Irland)

## Aufbaumöglichkeiten

Seit kurzer Zeit werden Basismaterialien aus PTFE (Teflon®)/Glas in kontinuierlich steigenden Volumen eingesetzt. Der Grund hierfür sind die immer höher werdenden Frequenzen bei denen elektrische Geräte arbeiten. Plötzlich sind die dielektrischen Werte von FR4 nicht mehr ausreichend, um Funktionalität zu gewährleisten: Dielektrizitätskonstante ( $\epsilon_R$ ) einschl. Toleranz, dielektrischer Verlustfaktor, usw. Als richtige Entscheidung wird dafür PTFE-Basismaterial eingesetzt, das anwendungsspezifisch z.B. in Europa hergestellt wird.

Multilayer bestehend aus PTFE waren bis vor ca. einem Jahr nahezu unbekannt, doch hat sich im Rahmen einer Gesamtkostenbetrachtung zwischenzeitlich viel geändert: es gibt sowohl nur aus Thermoplasten bestehende Multilayer (Abb. 1, 3) wie auch sogenannte Hybrid-Multilayer (Abb. 2, 4) aus PTFE und FR4. Anstelle von Prepregs werden bei reinen HF-Multilayern die PTFE-Lagen mit Verbundfolien aus CTFE (z.B. HT1.5) bzw. FEP verpreßt. Wie bei FR4-Multilayern ist die erhöhte Packungsdichte der Schaltung der ausschlaggebende Faktor. Auch lassen sich Kopplerstrukturen realisieren, bei denen PTFE-Innenlagen unterschiedlicher Dicke und Dielektrizitätskonstante miteinander verbunden werden (Abb. 3).

Ein weiterer wichtiger Punkt für den Einsatz von Multilayern ist Platzersparnis, wo anstelle mehrerer Leiterplatten nur eine Mehrlagenleiterplatte eingesetzt wird. Dies führt automatisch zu Kosteneinsparungen bei Kabeln, Steckverbindern, usw. Bei Hybrid-Multilayern bedeutet dies, daß die HF-Funktion innerhalb einer Leiterplatte mit der Digitalfunktion verbunden werden kann. Kosten werden ebenso durch die Dicke des PTFE-Basismaterials eingespart: Anstelle von 0.76 mm bzw. 1.52 mm Basismaterialdicke für doppelseitige Leiterplatten wird bei Hybrid-Multilayern nur die geforderte dielektrische Dicke für den HF-Teil eingesetzt. Durch den FR4-Teil wird dann die für SMT-Bestückung notwendige Steifigkeit erzielt.

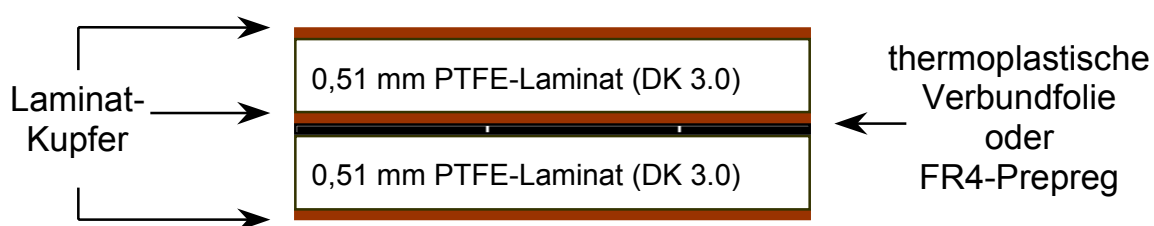


Abb.1: 3-Lagen PTFE-Multilayer

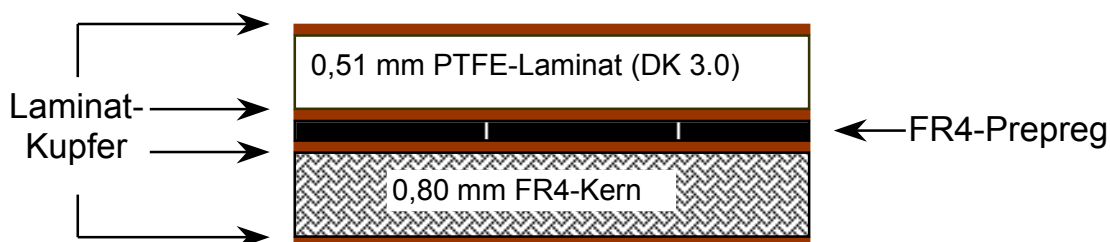


Abb. 2: 4-Lagen Hybridmultilayer FR4/PTFE

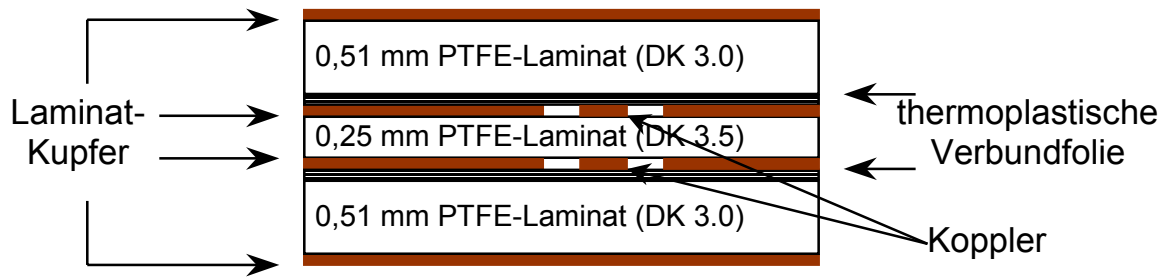


Abb. 3: 4-Lagen-PTFE-Multilayer mit Kopplerstrukturen und unterschiedlichen PTFE-Laminaten

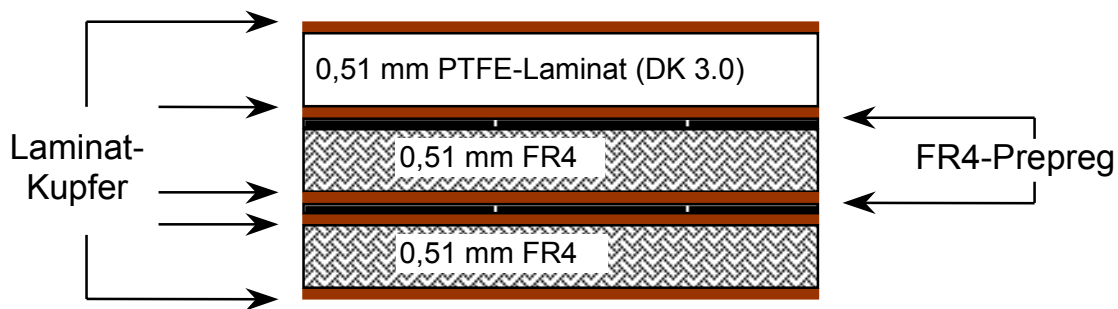


Abb. 4: 5-Lagen Hybridmultilayer FR4/PTFE

### Basismaterialauswahl

Standardmäßig erhältliche **FR4**-Basismaterialien und FR4-Prepregs werden für Hybrid-Multilayer eingesetzt, da im Verbund mit FR4 die Gesamtkosten am niedrigsten sind. Bei höherlagigen Multilayern mit eingebautem HF-Multilayer muß beachtet werden, daß sich bei den teilweise geforderten hohen Preßtemperaturen der Verbundfolien FR4 sich eventuell bereits zersetzt. Dieser HF-Multilayer muß daher zuerst gepreßt werden, um im 2. Schritt den FR4-Preßzyklus anwenden zu können.

Es gibt heute Low Cost-Basismaterialien aus **PTFE** mit Dielektrizitätskonstanten ( $\epsilon_R$ ) zwischen 2,75 und 3,5 (Tabelle 1). Aufgrund der dafür verwendeten Glasgewebetypen wird höchste Dimensionsstabilität in x/y-Richtung und eine FR4-analoge Ausdehnung in Z-Richtung erzielt. Müssen bedingt durch geforderte niedrigste Verlustfaktoren Basismaterialien mit sehr hohem PTFE-Gehalt eingesetzt werden, so sollte die Lagenzahl aufgrund der hohen Ausdehnung in alle 3 Richtungen bei maximal 4 liegen.

Zum Verbund mit FR4-Prepregs kann das PTFE-Basismaterial eine 35  $\mu\text{m}$  dicke Kupferkaschierung aufweisen, die jedoch beim Einsatz von thermoplastischen Klebefolien aufgrund deren Dicke auf 17,5  $\mu\text{m}$  verringert werden sollte.

| Basismaterial-Type | Dielektrizitätskonstante bei 10 GHz | Toleranz | Dielektrischer Verlustfaktor bei 10 GHz | Wasseraufnahme (%) |
|--------------------|-------------------------------------|----------|---|--------------------|
| RF-35              | 3.50                                | ± 0.07   | 0.0018 **                               | < 0,02             |
| TLC                | 2.75; 3.0; 3.20                     | ± 0.05   | 0.0030                                  | < 0,02             |
| TLE                | 2.95; 3.0                           | ± 0.05   | 0.0028                                  | < 0,02             |
| TLT                | 2,45; 2.50; 2.55; 2.60; 2.65 *      | ± 0.04   | 0.0006 *                                | < 0,02             |
| TLX                | 2,45; 2.50; 2.55; 2.60; 2.65        | ± 0.04   | 0.0019                                  | < 0,02             |
| TLY                | 2.17; 2.20; 2.33                    | ± 0.02   | 0.0009                                  | < 0,02             |
| CER-10             | 10                                  |          | 0.0035                                  | < 0,02             |
| FR4 Epoxid/Glas    | 4.2 – 4.5                           | ± 0.2    | 0.012                                   | < 0.35             |

\* bei 1 MHz

\*\* bei 1.9 GHz

Tabelle 1: Eigenschaften von PTFE-Basismaterialien im Vergleich zu FR4

**Thermoplastische Verbundfolien** werden von der Anwendung her unterschieden in entweder dielektrischen Werten bei geforderten Frequenzen bzw. mögliche Preßtemperatur eines Multilayerherstellers (Tabelle 2).

|                          | HT1.5             | FEP              |
|--------------------------|-------------------|------------------|
| Dielektrizitätskonstante | 2.35 (@ 10 GHz)   | 2.00 (@ 1 MHz)   |
| Verlustfaktor            | 0.0025 (@ 10 GHz) | 0.0007 (@ 1 MHz) |
| Preßtemperatur (°C)      | 225               | 290              |
| Preßdruck (bar)          | 8 – 15            | 8 - 15           |

Tabelle 2: Eigenschaften von thermoplastischen Verbundfolien

## Herstellung von Multilayern

Nachfolgende Übersicht gibt wichtige Anhaltspunkte, die bei der Herstellung von Hybrid-Multilayern zu beachten sind. Es gibt keine weltbewegenden Unterschiede im Vergleich zu reinen FR4-Multilayern, doch sind es häufig gerade Informationen über die kleinen Unterschiede, die zu Unterschieden der Ausbeute beitragen.

### Innenlagenerstellung

Wie dünne FR4-Basismaterialien sollten auch PTFE-Basismaterialien vor dem Laminieren von Fotoresist nur angeätzt werden, da durch mechanische Bearbeitung wie z.B. Bürsten das Laminat gedehnt wird.

Nach dem Ätzen von glasgewebeverstärktem PTFE-Basismaterial wird eine Dehnung in X/Y-Richtung beobachtet, die durch eine Artworkverkleinerung kompensiert werden kann. Der genaue Wert der Dehnung hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie Aufbau des Basismaterials

(Abhängigkeit von der Dielektrizitätskonstante), Basismaterialdicke, Kaschierung, Anteil des von der Gesamtfläche abzuätzenden Kupfers, usw.

Die in Tabelle 3 angegebenen Richtwerte dienen lediglich als Anhaltspunkte. Sie verdeutlichen jedoch, daß nach Möglichkeit PTFE-Basismaterialien mit  $E_R$ -Werten von 2.75 – 3.50 eingesetzt werden sollten, da die für diese Laminare einsetzbaren Glasgewebe dicker und daher dimensionsstabiler sind als die für niedrigere  $E_R$ -Werte.

| Basismaterial | Dehnung (ppm) |
|---------------|---------------|
| RF-35         | 200 – 400     |
| TLC           | 200 – 400     |
| TLE           | 200 – 400     |
| TLT/TLX       | 400 - 600     |
| TLY           | 400 - 800     |

Tabelle 3: Dehnung von PTFE/Glas-Basismaterial

Nach dem Ätzen freiliegende PTFE-Oberflächen sollten nach Möglichkeit nicht berührt werden, um das durch die abgeätzte Kupferfolie vorliegende Negativprofil im PTFE nicht zu zerstören. Dies erspart eine zusätzliche Oberflächenaufbereitung durch Plasma. REM-Aufnahmen belegen, daß diese durch Abätzen geschaffene große Oberfläche zum Verbund mit Prepreg bzw. Verbundfolie auch nach mehreren Tagen trotz sog. „kalten Flusses“ des PTFEs noch nach mehreren Tagen bestehen bleibt (Abb. 5).

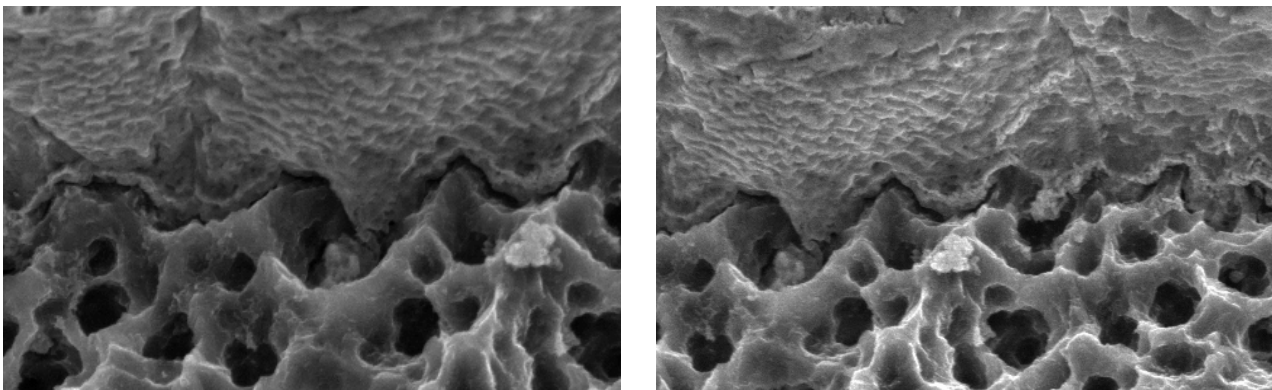


Abb. 5: Abgeätzte PTFE-Oberfläche a) frisch abgeätzt, b) nach 10 Tagen (Quelle: Circuit Foils)

Zur Oberflächenvergrößerung der Kupferoberfläche wird zum Verbund mit FR4-Prepreg Braunoxid bzw. reduziertes Oxid empfohlen. Für HF-Multilayer unter Einsatz von CTFE- bzw. FEP-Verbundfolie wird bei den dazu benötigten Preßtemperaturen von  $> 225\text{ °C}$  reduziertes Oxid wieder oxidiert, so daß von Anfang an Braunoxid gute Ergebnisse zeigt. Ebenfalls werden dazu chemisch Nickel/Gold bzw. Sudzinn erfolgreich eingesetzt.

## Verpressen

Die kostengünstigste Multilayervariante wird mittels FR4-Prepreg erstellt. Dabei wird wie bei FR4-Multilayern der standardmäßige Preßzyklus (Mindesthaltezeit 45 Minuten bei Erreichen der Preßtemperatur von  $175\text{ °C}$ ) angewandt.

Thermoplastische Klebefolien (wie HT1.5) schmelzen im Gegensatz zu duroplastischen Prepregs (wie FR4) nur auf, fließen jedoch nicht und benötigen auch keine Aushärtezeit. Die zum Verpressen notwendige hohe Temperatur von 225 °C wird innerhalb von 30 Minuten erreicht, ebenso lang wird auf Temperatur gehalten, um danach unter sehr langsamem Abkühlen (ca. 1,5 °C/min) wieder zurück auf Raumtemperatur gebracht zu werden (Abb. 6).

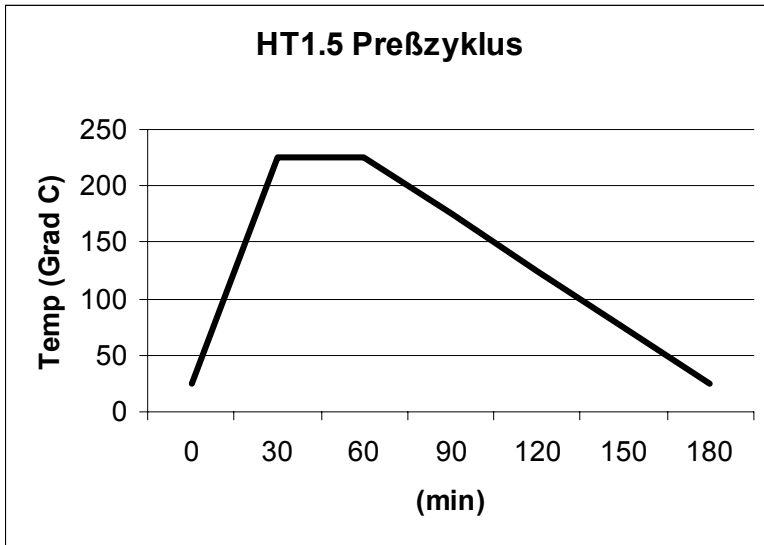


Abb. 6: Preßzyklus von HT1.5

Wie bereits unter Basismaterialauswahl angesprochen, sind die hohen Preßtemperaturen von thermoplastischen Verbundfolien nur bedingt für FR4 einsetzbar. Reine HF-Multilayer als Bestandteil von komplexen Hybridmultilayern sollten daher vorab separat verpreßt werden, da sich FR4 sonst zersetzen kann.

## Bohren

Da für Hybrid-Multilayer vorgeschlagene PTFE-Basismaterialien nahezu identisch wie FR4 gebohrt werden können (Tabelle 4, 5), kann von Standard-FR4-Bohrparametern und Standardbohrern ausgegangen werden.

| Bohrerdurchmesser (mm) | Chip Load (µm/1) | Drehzahl (U/min) | Vorschub (m/min) | Schnittgeschwindigkeit (m/min) |
|------------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------------|
| 0.4                    | 29               | 110.000          | 3.2              | 150                            |
| 0.8                    | 65               | 60.000           | 3.9              | 150                            |
| 1.0                    | 85               | 48.000           | 4.0              | 150                            |
| 1.5                    | 100              | 32.000           | 3.2              | 150                            |

Tabelle 4: Typische Bohrdaten für FR4 (Quelle: Hawera)

| Bohrerdurchmesser (mm) | Chip Load (µm/1) | Drehzahl (U/min) | Vorschub (m/min) | Schnittgeschwindigkeit (m/min) |
|------------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------------|
| 0.4                    | 36               | 100.000          | 3,6              |                                |
| 0.8                    | 65               | 56.000           | 3,6              | 140                            |
| 1.0                    | 76               | 45.000           | 3,4              | 140                            |
| 1.5                    | 90               | 30.000           | 2,7              | 140                            |

Tabelle 5: Typische Bohrdaten für PTFE-Basismaterial TLC-30 (Quelle: Hawera)

## Desmearing

Bohrsmear wird nur durch FR4, nicht durch PTFE hervorgerufen, da PTFE keine Glasumwandlungstemperatur besitzt. Es muß daher auch nur Epoxid entfernt werden. Dies geschieht zweckmäßig mittels Plasma, da im Anschluß daran gleich die PTFE-Oberfläche aufbereitet werden kann.

Ein typischer Plasmazyklus beinhaltet in Stufe 1 eine 50:50 Mischung aus Sauerstoff und Helium bei 4300 W/15 bar/10 min, gefolgt von einer Stufe 2 mit 100 % Helium bei 2575 W/15 bar/15 min und einer Endtemperatur von ca. 80 °C.

## Durchkontaktierung

Erfahrungen haben gezeigt, daß sowohl konventionelle Durchkontaktierung mit chemisch Kupfer wie auch durch Direktmetallisierung für Hybridmultilayer angewendet werden können. Wesentlich hierzu ist die optimale Oberflächenaufbereitung von Bohrlöchern im vorangegangenen Fertigungsschritt und optimaler Konditionierung der Bohrlöcher.

Es gibt heute auch bereits ein Durchkontaktierungsverfahren für PTFE-Basismaterial, das ohne vorangegangene Lochwandaufbereitung auskommt (Quelle: Dexter). Somit kann PTFE-Basismaterial mit denselben Verfahren wie FR4 verarbeitet werden.

## Außenlagenerstellung, Fertigstellung

Auch hier kommen standardmäßige Fertigungsschritte bzw. Chemikalien zum Einsatz.

## Fräsen

Fräsparameter für PTFE-Basismaterialien mit einem Standardfräser sind z.B. (Tabelle 6)

|                          | <b>PTFE-Basismaterial TLC-30</b> | <b>FR4</b> |
|--------------------------|----------------------------------|------------|
| Drehzahl (U/min)         | 20.000                           | 29.000     |
| Vorschub (m/min)         | 0,9                              | 1,0        |
| Z-Achsenvorschub (m/min) | 5                                | 2,5        |

Tabelle 6: Fräsparameter für 2,4 mm Fräserdurchmesser (Quelle: Hawera)

Ausgehend von FR4-Parameter sollten die optimalen Werte für Hybrid-Multilayer ermittelt werden.

## Zusammenfassung

Die vorangegangene Übersicht zur Herstellung von Hybrid-Multilayern zeigt, daß Exoten von gestern heute genau so einfach bzw. schwierig wie FR4 hergestellt werden können.