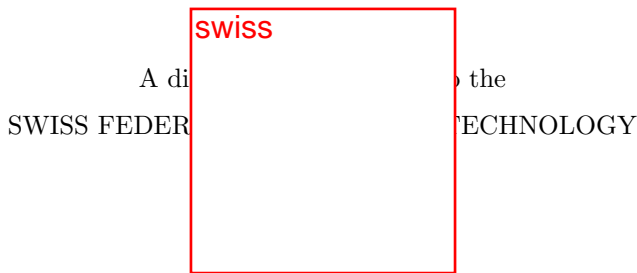


Characterisation of High Density Substrates for Use at Millimetre-Wave Frequencies



presented by

Didier Cottet
Dipl. El.-Ing. ETH
born 22nd February 1971
citizen of Bossonnens FR

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Gerhard Tröster, examiner
Dr. David J. Pedder, co-examiner

Abstract

In this dissertation we present a quantitative performance metric and benchmark methodology for high density substrate technologies used at millimetre-wave frequencies. The proposed method is based on the fact that next to the dielectric permittivity and the dielectric loss tangent, the determining factors for millimetre-wave system performance are mainly topology parameters related to the technology build-up, the process accuracy and the achievable minimum structure definition. This means that for a specified technology high frequency performance estimations and comparisons can be done at an early stage of product development and without use of dedicated high frequency simulation tools or measurement equipment and with no need for complete system designs. This thesis relies on the following three basic performance factors:

- Quality of design and layout
- Intrinsic material properties
- Quality of underlying manufacturing technology

The *quality of design and layout* is a matter of solid design engineering according to the laws of electromagnetic theory. The *material properties* are very important in the sense that they must be thoroughly characterised at the target frequencies. But once they are known, the values remain stable with only marginal variations and can be regarded as fixed. Hence, it is the *underlying manufacturing technology* that distinguishes between high performance and low performance systems, between expensive and low cost manufacturing and between low volume and high volume compatible processes. The quality of the underlying technology is on one hand defined by its topology build-up and on the other hand by the build-up parameters and their variations.

An important aspect to consider when characterising technology build-ups are the physical constraints occurring at millimetre-wave frequencies. Dielectric and conductor thickness, wavelength, skin depth and parasitic mode excitation as well as mechanical reliability are but a few of the issues that demand for thorough trade-off analysis. To determine if a technology suits the system specifications at millimetre-wave frequencies an effective, well-defined characterisation procedure is

required. The procedure must consist of a quantitative metric to measure the technology performance, a tool that facilitates the comparison and an acquisition technique for technology parameter data.

In this dissertation such a characterisation procedure is developed and its concept proven by means of a case study comparing 17 different high density substrate technology alternatives. The investigated technologies comprise thin film, laminate and thin film on laminate build-ups and were developed and manufactured within the European research projects LAP¹ and LIPS².

¹LAP, Low Cost Large Area Panel Processing of MCM-D Substrates and Packages, Esprit Project no. 26261, BBW no. 97.0286

²LIPS, Low Cost Interconnect, Packaging and Sub-system Integration Technologies for Millimetre-wave Applications, IST Project no. 30128, BBW no. 01.0301

Zusammenfassung

Diese Dissertation präsentiert eine quantitative Leistungsmetrik und Vergleichsmethodik für High-Density Substrattechnologien und deren Anwendung im Millimeterwellen-Frequenzbereich. Als Grundlage dient die Tatsache, dass neben der dielektrischen Permittivität und dem dielektrischen Verlustfaktor der Materialien, vor allem auch rein topologische Größen wie der Substratlagenaufbau, die Prozessiergenauigkeit und die minimale Strukturauflösung einen bedeutenden Einfluss auf die Gesamtleistung haben. Damit können die Hochfrequenzeigenschaften verschiedener Technologien bereits zu einem frühen Zeitpunkt und ohne komplexes Systemdesign und Hochfrequenzsimulationen abgeschätzt und verglichen werden. Folgende drei Leistungsfaktoren werden dabei unterschieden:

- Qualität von Design and Layout
- Intrinsische Materialeigenschaften
- Qualität der zugrunde liegenden Technologie

Die *Qualität von Design and Layout* wird im wesentlichen durch solides Handwerk des Designers bestimmt, basierend auf den Gesetzen der Elektromagnetischen Theorien. Die *intrinsischen Materialeigenschaften* spielen eine bedeutende Rolle und müssen vor allem im Frequenzbereich der Zielapplikation präzise charakterisiert werden. Einmal bekannt, ändern sich diese Eigenschaften nur noch unwesentlich und können als feste Werte betrachtet werden. Die *zugrunde liegende Technologie* ist somit die entscheidende Komponente welche teure Hochleistungssysteme von Billiggeräten unterscheidet und welche kleine oder grosse Stückzahlen ermöglicht. Die Qualität der Technologie ist einerseits durch den Topologieaufbau und andererseits durch die geometrischen Größen und ihren Variationen bestimmt.

Ein wichtiger Aspekt, welcher bei Technologie-Charakterisierung in Betracht gezogen werden muss, sind die bei Millimeterwellen geltenden physikalischen Einschränkungen. Die Dicken der Dielektrikums- und Metalllagen, die Wellenlängen, die Tiefe des Skin-Effektes und die Anregung parasitärer Modi aber auch Zuverlässigkeitsaspekte müssen sorgfältig aufeinander abgestimmt werden. Um genau ermitteln zu

können, ob eine Technologie den Systemanforderungen entspricht wird eine klar definierte Prozedur benötigt. Diese Prozedur muss zu diesem Zweck eine quantitative Metrik für Technologieleistung, ein flexibles Vergleichswerkzeug und eine effiziente Parametermessmethodik zur Verfügung stellen.

Die vorliegende Arbeit beschreibt den Entwurf einer entsprechenden Prozedur und prüft deren Konzept mittels einer Fallstudie. Dabei werden 17 verschiedene Substrattechnologien aus den Bereichen Dünnschicht, Laminate und Dünnschicht auf Laminat untersucht, welche im Rahmen der europäischen Forschungsprojekte LAP³ und LIPS⁴ entwickelt und hergestellt wurden.

³LAP, Low Cost Large Area Panel Processing of MCM-D Substrates and Packages, Esprit Project no. 26261, BBW no. 97.0286

⁴LIPS, Low Cost Interconnect, Packaging and Sub-system Integration Technologies for Millimetre-wave Applications, IST Project no. 30128, BBW no. 01.0301