

# 材料特性を考慮した高周波回路基板のスマートな使い方

## Smart Use of Microwave and Millimeter-Wave Circuit Boards, Focusing on the Material Properties

古神 義則 清水 隆志  
Yoshinori KOGAMI and Takashi SHIMIZU

宇都宮大学大学院工学研究科 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2  
Graduate School of Engineering, Utsunomiya University 7-1-2 Yoto, Utsunomiya-shi, Tochigi, 321-8585 Japan

### Abstract

How to use the microwave and millimeter-wave circuit boards is presented. Various circuit boards are classified according to their properties. On the other hand, the properties to be demand in fabrication of the planar circuits are shown. The smart usage of the circuit boards will be discussed in this session.

### 1. はじめに

マイクロ波・ミリ波平面回路用基板としては、実に様々なものが出回っている。目的に応じて材料を選択し、回路基板を上手に活用するためのポイントについて議論することが、本入門講座の目的である。本稿では、そのために高周波基板の構造パラメータ、電氣的パラメータを整理し、それらがマイクロストリップ線路で構成される回路の特性に、どの様に効いてくるのかについて解説する。

### 2. 高周波回路基板の構造とマイクロ波・ミリ波特性

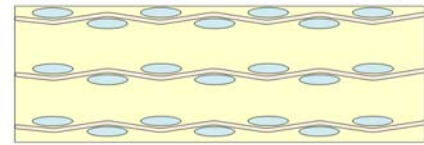
#### (a) 回路基板の構造

高周波用回路基板は、誘電体平板の表面に銅めっきを施したものであるが、一般にその誘電体部分は均一ではない。例えば束ねたガラスファイバーを織り込んだガラスクロスに樹脂を含浸させ形成した誘電体シートが良く用いられる。図 1(a)に、その断面構造を模式的に示す。また、この誘電体シートを薄く作製しておき（プリプレグ）、これを図 1(b)の様に複数積層して厚み調整を行うタイプのものも良く使用される。

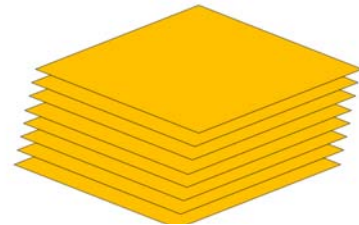
#### (b) 誘電体の複素比誘電率 $\hat{\epsilon}_r$

複素比誘電率  $\hat{\epsilon}_r$  は、高周波電磁界に対する誘電体の電氣的特性を表す複素量で、その実部が比誘電率、虚部は誘電正接に比誘電率を乗じた量となる。すなわち、

$$\hat{\epsilon}_r = \epsilon_r - j\epsilon_{ri} = \epsilon_r - j\epsilon_r \tan \delta \quad (1)$$



(a) ガラスクロス樹脂基板



(b) 誘電体シート積層基板

図 1 高周波回路基板の誘電体部分の構造

これに真空中の誘電率  $\epsilon_0$  を乗じた複素誘電率  $\hat{\epsilon}$  は、誘電体に印加される電界  $E$  と、それにより発生する電束密度  $D$  の比として定義される。

$$D = \hat{\epsilon} E \quad (2)$$

$$D = \epsilon_0 \epsilon_r E e^{-j\delta} \quad (3)$$

$\delta = 0$  の場合、 $\partial D / \partial t$  で計算される高周波電流と電界の位相差は  $90^\circ$  となり、その積の実部はゼロとなるから電力損失は生じない。電束密度の位相が電界に対して  $\delta$  だけ遅れることが誘電体損失発生に対応することから、 $\delta$  は損失角とも呼ばれる。

図 1(a)の基板の場合、誘電体の複素比誘電率は