

**プリント配線板用銅張積層板試験方法
比誘電率及び誘電正接（500MHz～10GHz）**

**A TEST METHOD FOR COPPER-CLAD LAMINATES FOR PRINTED WIRING BOARDS
DIELECTRIC CONSTANT AND DISSIPATION FACTOR (500MHz to 10GHz)**

JPCA-TM001 -2007

まえがき

プリント配線板の高周波特性への要求が高まっている中、高周波数帯域における誘電特性の統一した試験方法規格が無い場合、各社独自の方法で測定が行われている状況にある。

この度、日立化成工業㈱の協力により、「トリプレート共振法」を“周波数帯域 500MHz～10GHz での一測定方法”として規格化することとした。本試験方法は、国際規格である IEC への提案も並行して行われている。

なお、前述の通り、高周波数帯域における誘電特性の試験方法はこの方法が唯一のものではないので、巻末の意見書にて、関係諸氏の意見を寄せられたい。

(社)日本電子回路工業会

プリント配線板規格部会／基板材料 S C

Preface

The demand for the high frequency property of the printed wiring board is rising. As the standard for test method of dielectric property at the high frequency range is not existed, individual test method is used in each company. Then, the test method by “Tri-plate resonate method” from 500 MHz to 10GHz at the frequency is started to standardize in cooperated with Hitachi Chemical Co., Ltd.

The test method described in this document is certainly not the only method to measure dielectric property at the high frequency range. We should like to appreciate to receive comments from those who use this document using the comment form attached at the end for further improvement of this document.

JPCA PWB Standards Committee
Base Materials Sub-Committee

プリント配線板規格部会／基板材料 Sub Committee

(順不同・敬称略)

	氏名	所属
部会長	松元 剛	住友ベークライト株式会社
副部会長	車谷 茂	新神戸電機株式会社
	池田 謙一	日立化成工業株式会社
	永田 守	ソニー株式会社
	橋本 浜穂	三菱ガス化学株式会社
	長谷 史郎	利昌工業株式会社
	原田 章治	ニッカン工業株式会社
	米本 神夫	松下電工株式会社
事務局	栗原 正英	社団法人日本電子回路工業会
	柴田 明一	社団法人日本電子回路工業会
	小泉 徹	社団法人日本電子回路工業会
	小幡 高史	社団法人日本電子回路工業会

JPCA PWB Standards Committee／Base Materials Sub-Committee

Chairman	Tsuyoshi Matsumoto	Sumitomo Bakelite Co., Ltd
Vice-Chairman	Shigeru Kurumatani	Shin-Kobe Electric Machinery Co., Ltd.
	Ken-ichi Ikeda	Hitachi Chemical Co., Ltd.
	Mamoru Nagata	Sony Corporation
	Hamaho Hashimoto	Mitsubishi Gas Chemical Co., Inc.
	Shirou Hase	Risho Kogyo Co., Ltd.
	Shoji Harada	Nikkan Industries Co., Ltd.
	Tatsuo Yonemoto	Matsushita Electric Works, Ltd.
	Masahide Kurihara	Japan Electronics Packaging and Circuits Association
	Akikazu Shibata	Japan Electronics Packaging and Circuits Association
	Toru Koizumi	Japan Electronics Packaging and Circuits Association
	Takafumi Obata	Japan Electronics Packaging and Circuits Association

制定・改正：制定：平成 19 年 5 月 24 日

作成者：社団法人 日本電子回路工業会（会長 安東 脩二）

この規格についてのご意見又はご質問は、(社)日本電子回路工業会（〒167-0042 東京都杉並区西荻北 3-12-2 回路会館 2 階）Tel 03-5310-2020, Fax 03-5310-2021, e-mail: std@jpca.org へ連絡して下さい。

目 次

1. 目的	1
2. 適用範囲	1
3. 試験試料	1
4. 試験片の準備	1
5. 試験治具	4
6. 試験装置	5
7. 手順	5
8. 報告書	8

CONTENTS

1. PURPOSE	9
2. SCOPE	9
3. TEST SPECIMENS	9
4. TEST SET	9
5. TEST FIXTURE	12
6. TEST EQUIPMENT	13
7. PROCEDURE	13
8. REPORT	15

JPCA規格

プリント配線板用銅張積層板試験方法 比誘電率及び誘電正接（500MHz～10GHz）

JPCA-TM001

A TEST METHOD FOR COPPER-CLAD LAMINATES FOR PRINTED WIRING BOARDS DIELECTRIC CONSTANT AND DISSIPATION FACTOR (500MHz to 10GHz)

1. 目的

この規格は、周波数帯域が 500MHz～10GHz での比誘電率と誘電正接の試験方法を規定する。なお、この試験方法は、比誘電率が 2～10 で誘電正接が 0.001～0.050 の材料に適している。

2. 適用範囲

プリント配線板用銅張積層板に適用する。

3. 試験試料

- a) 試料は、銅張積層板とする。
- b) 試料として板の端から 25mm 以内の部分は使用しない。
- c) 最低でも四組試料を試験する。

3.1 寸法

各試料の寸法は、200 mm±0.5 mm × 50 mm±1mm とする。

3.2 誘電体層厚さ

各誘電体層の厚さは、0.6mm から 1.6mm とする。適切な厚さの範囲は、0.6mm から 1.0mm である。

3.3 銅はく厚さ

各試料の銅はくの厚さの範囲は、0.010 mm～0.040mm とする。

4. 試験片の準備

- a) 試験片は 2 枚一組の基板からなる。基板 A は片面に導体ラインを有し、反対面には全面銅はくを有する。導体ラインの幅は 0.6mm～1.8 mm とする。基板 B の片面は完全に銅はくを除去し、反対面は全面銅はくを有する。これらの基板は図 1a, 1b, 1c, 1d, 2a, 2b, 2c 及び 2d に示される。
- b) 銅張積層板の銅はくをエッチングしてパターンを形成する。
- c) エッチング後、適正な治工を用いて基板 A と基板 B を切り取る。
- d) 基板 A と基板 B を恒温槽中で、105 °C±2°C で 1 時間乾燥する。その後、20°C/65%RH の環境下で 96 時間放置する。

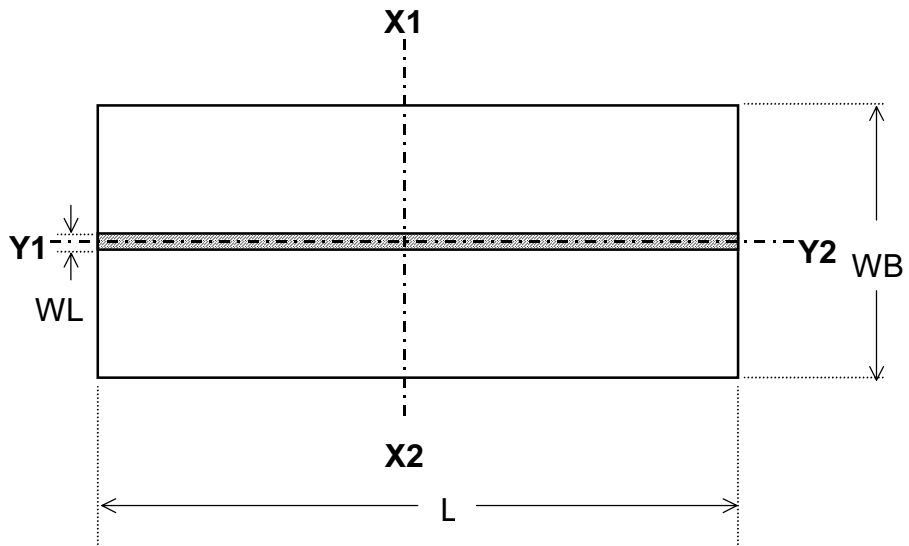


図 1a - 基板 A の片面

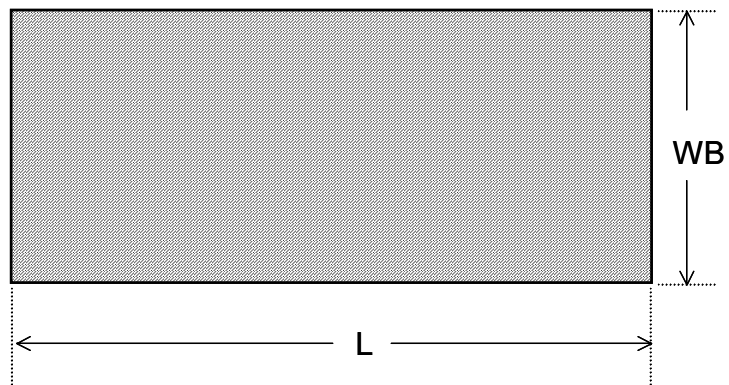


図 1b - 基板 A の反対面

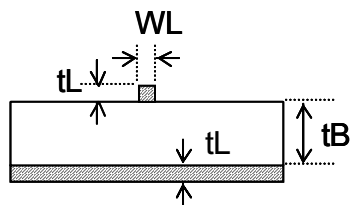


図 1c - 基板 A の $X1$ と $X2$ の間の断面

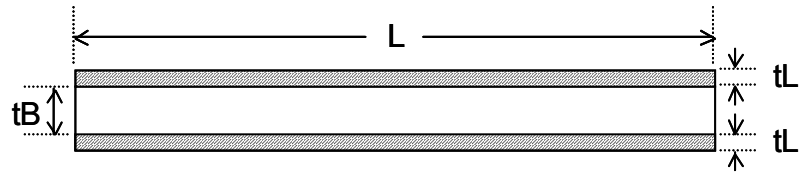


図 1d - 基板 A の Y1 と Y2 の間の断面

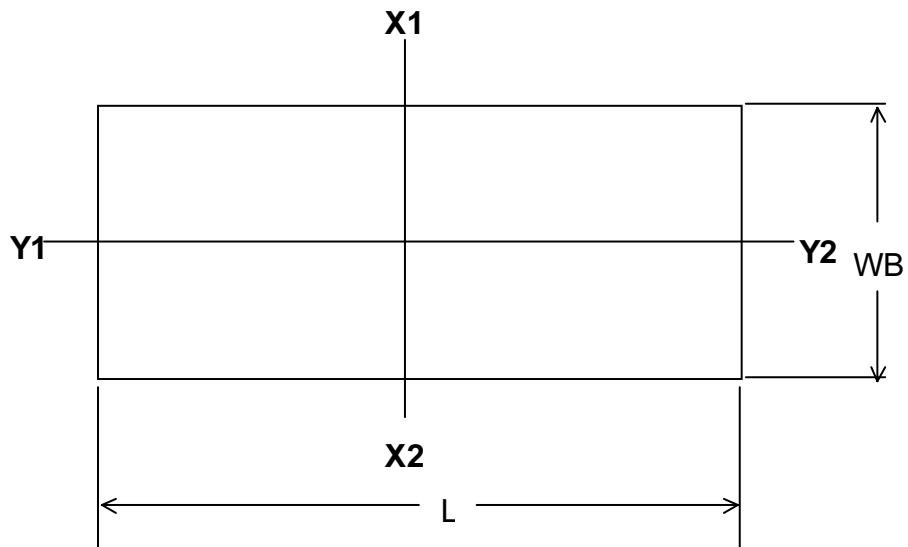


図 2a - 基板 B の片面

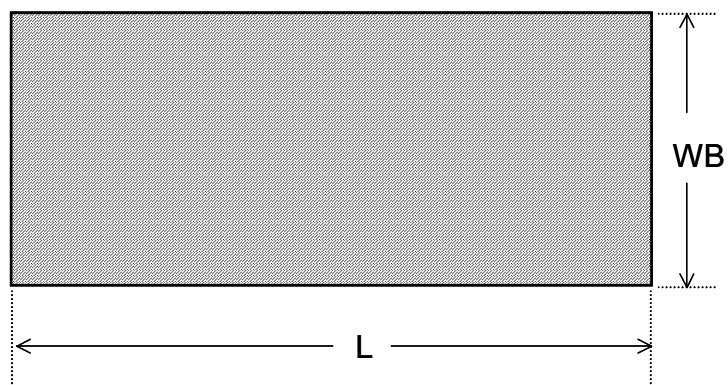


図 2b - 基板 B の反対面

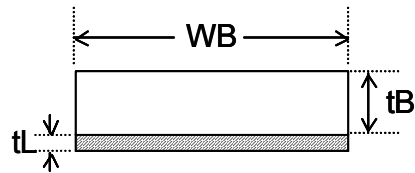


図 2c - 基板 B の X1 と X2 の間の断面

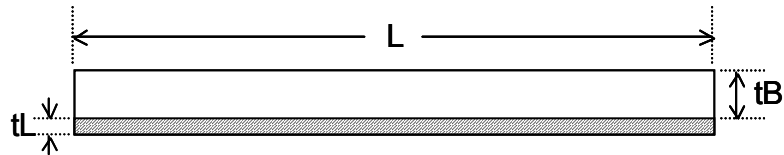


図 2d - 基板 B の Y1 と Y2 の間の断面

ここで、

- L : 試験片の長さ(単位: m)
- WB : 試験片の幅(単位: m)
- WL : 導体ラインの幅(単位: m)
- tB : 誘電体層の厚さ(単位: m)
- tL : 導体ラインの厚さ(単位: m)

5. 試験治具

- a) 試験治具は、2個の同軸コネクタと金属（材質はSUS等）の箱で構成される。
- b) 同軸コネクタの型式は、高周波測定対応の型式とする。
- c) 金属箱を構成する金属板の厚みは、0.6mm以上とする。
- d) 間げきの距離は、0.01mmから0.5mmとする。

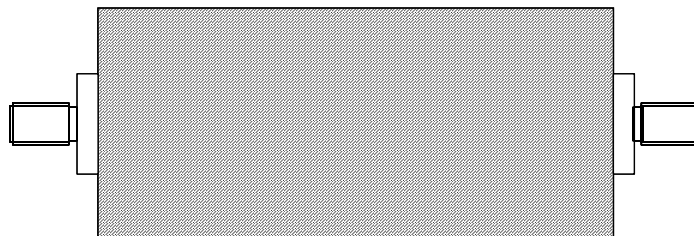


図 3a - 試験治具の上面

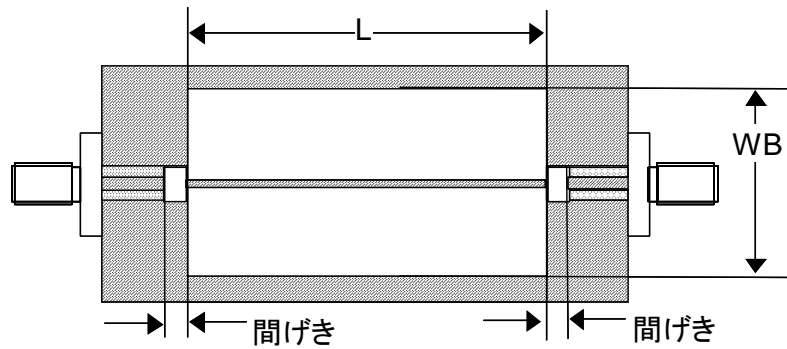


図 3b - 試験片を組み込んだ試験治具の水平断面

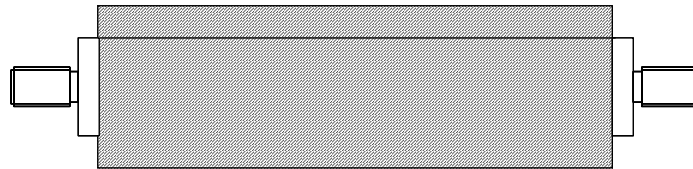


図 3c - 試験治具の側面



図 3d - 試験片を組み込んだ試験治具の垂直断面

6. 試験装置

- a) ベクトルネットワークアナライザ(以下, VNA という。)を使用する。
- b) VNA のダイナミックレンジは, 50dB 以上とする。
- c) VNA の周波数帯域は, 100MHz から 10GHz を超える周波数とする。

7. 手順

7.1 測定

7.1.1 電気特性の測定

- a) 電気特性の測定は, VNA と治具を用いて行う。
- b) 周波数, 測定点, アベレージング数及びスムージングレベル等の測定条件を VNA に入力する。

- c) 測定周波数の帯域で同軸ケーブルを用いて VNA のキャリブレーションを行う。
- d) 試験治具の同軸コネクタに同軸ケーブルを接続する。
- e) 基板 A の導体ラインのある面と基板 B の導電層を除去した面を向かい合うようにして、試験片を試験治具箱の中にセットする。
- f) 試験片を安定して配置するためにダミー基板を適宜挟み、試験治具の天板を試験片の上にセットする。
- g) S21 の共振波形を VNA のモニターで確認する。図 4 にその例を示す。
- h) S21 のデータを記憶装置に取り込むこと。このデータは計算のための生データである。

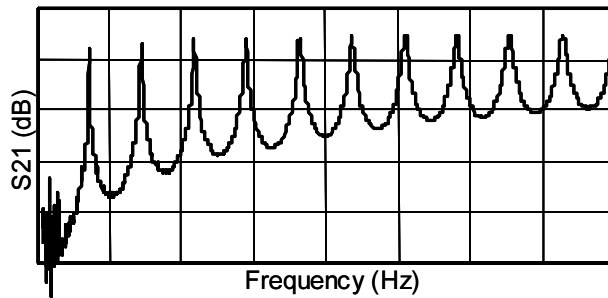


図 4 - VNA 生データの一例

7.1.2 ライン長の測定

ライン長を±0.1mm の精度で測定する。

7.1.3 厚さの測定

試験片の誘電体層と銅はくの厚さを、±0.001mm の精度で測定する。

7.2 計算

7.2.1 比誘電率

比誘電率(ϵ_r)は下式で計算する:

$$\epsilon_r = \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{c}{f_m} \cdot \frac{m}{2(L+\Delta L)} \right)^2 \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

[1]

但し,

- λ_0 : 真空中の波長(単位: m)
- λ : 測定誘電体中の波長(単位: m)
- c : 光速(2.9978×10^8 m/s)
- m : 共振次数(1, 2, 3, ...)
- f_m : 共振次数 m における共振周波数(単位: Hz)
- L : 試験片の導体ライン長(単位: m)
- ΔL : 補正ライン長(単位: m)

7.2.2 誘電正接

- a) 極大側の包絡線と極小側の包絡線は、生データから計算する。
 b) 減衰定数(α)は、下式で計算する:

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{1+U}{1-U} \right) \cdot \frac{1}{L+\Delta L} \cdot 8.686 \quad (\text{dB/m}) \quad [2]$$

$$U = 10^{\frac{P}{20}} \quad [3]$$

ただし、

P : 極大側の包絡線と極小側の包絡線の差(単位 : dB)

- c) α は導電損因子(α_c)と誘電損因子(α_d)の和であり、 α_d を下式で計算する:

$$\alpha_d = \alpha - \alpha_c \quad (\text{dB/m}) \quad [4]$$

- d) 式[4]中の α_c は、下式より計算する:

$$\alpha_c = \frac{0.0231 R_s \epsilon_r Z_0}{30\pi(tB-tL)} \left[1 + \frac{2WL}{tB-tL} + \frac{1}{\pi} \cdot \frac{tB+tL}{tB-tL} \cdot \ln \left(\frac{2tB-tL}{tL} \right) \right] \quad (\text{dB/m}) \quad [5]$$

$$R_s = \sqrt{\pi \mu_0 f_m \rho} \quad (\Omega) \quad [6]$$

$$Z_0 = \frac{30\pi}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \frac{1-tL/tB}{WL/tB + C_f/\pi} \quad (\Omega) \quad [7]$$

$$C_f = 2 \cdot \ln \left[\frac{1}{1-tL/tB} + 1 \right] - \frac{tL}{tB} \cdot \ln \left[\frac{1}{(1-tL/tB)^2} - 1 \right] \quad [8]$$

ただし、

R_s : 表皮抵抗(単位 : Ω)

Z_0 : 試験片の特性インピーダンス(単位 : Ω)

tB : 誘電体層の厚さ(単位 : m)

tL : 導体ラインの厚さ(単位 : m)

WL : 導体ラインの幅(単位 : m)

μ_0 : 真空中の透磁率($4\pi \times 10^{-7}$ H/m)

ρ : 銅の抵抗率(1.72×10^{-8} Ωm)。特殊銅はくの場合は、 ρ はその銅はく固有の値を用いること。

e) α_d は、式[9]の関係も成り立つため、誘電正接($\tan \delta$)を式[10]で計算する:

$$\alpha_d = \frac{8.686 \pi f_m \sqrt{\epsilon_r}}{c} \cdot \tan \delta \quad (\text{dB/m}) \quad [9]$$

$$\tan \delta = \frac{\alpha_d c}{8.686 \pi f_m \sqrt{\epsilon_r}} \quad [10]$$

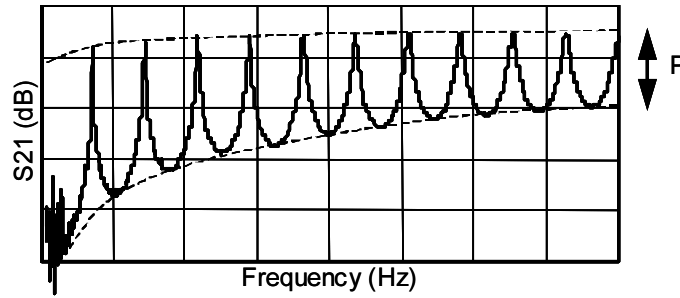


図 5 - VNA 測定の実データから計算した包絡線

8. 報告書

報告書には下記を含む:

- a) 試験番号及び版
- b) 銅張積層板の種類
- c) 各周波数の比誘電率とその平均値
- d) 各周波数の誘電正接とその平均値
- e) 試験日
- f) 測定時の温度と湿度
- g) 試験方法と異なる内容
- h) 試験を実施した者の氏名

JPCA Standard

A TEST METHOD FOR COPPER-CLAD LAMINATES FOR PRINTED WIRING BOARDS DIELECTRIC CONSTANT AND DISSIPATION FACTOR (500MHz to 10GHz)

JPCA-TM001

1. OBJECT

This test method covers the procedure for determination of the measurement of dielectric constant and dissipation factor at 500MHz to 10GHz. The suitable material for this method has 2-10 of dielectric constant and 0.001-0.050 of dissipation factor.

2. PURPOSE

This test method is applicable to copper-clad laminates for printed wiring boards.

3. TEST SPECIMENS

- a) Specimens shall be copper clad laminate.
- b) Specimens shall be cut not less than 25 mm from the edge of the sheet.
- c) A minimum of four specimens shall be tested.

3.1 Size

The size of each specimen should be $200\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm} \times 50\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$.

3.2 Thickness of dielectric

The dielectric thickness of each specimen should be 0.6mm to 1.6mm. The suitable range is 0.6 mm to 1.0 mm.

3.3 Thickness of copper foil

The copper foil thickness of each specimen should be 0.010mm to 0.040mm.

4. TEST SET

- a) Test set consists of two boards. Board A shall be a board with a conductive line on one side and with a copper foil on another side. The width of conductive line shall be 0.6 mm to 1.8 mm. Board B shall be a board without copper foil on one side and with a copper foil on another side. These boards shall be shown in Figures 1a, 1b, 1c, 1d, 2a, 2b, 2c and 2d.
- b) Board A and Board B are produced from test specimens. Copper foil on copper clad laminate shall be etched for the test set design.
- c) After etching, test set shall be etched laminate.
- d) Test set shall be dried 1 hour in the oven with $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, and kept 96 hours in $20^{\circ}\text{C}/65\%RH$.

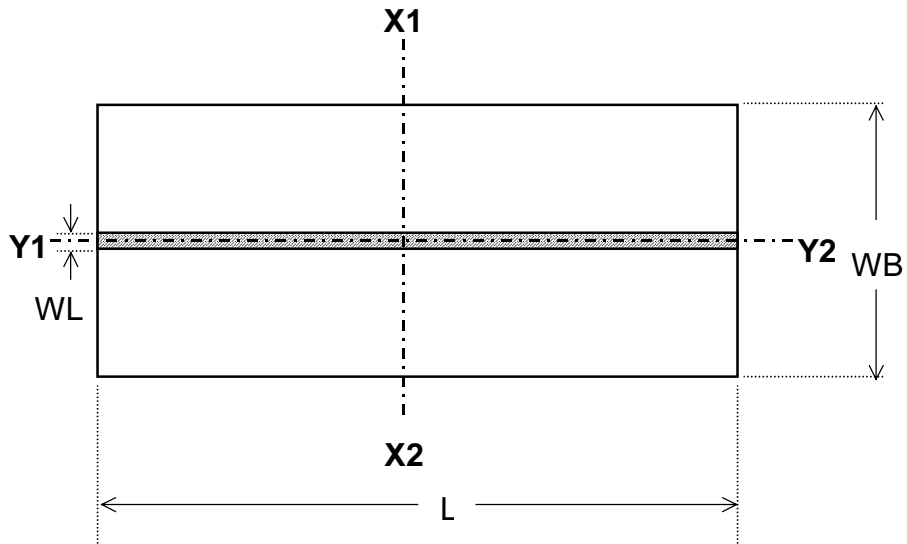


Figure 1a – One side of the Board A

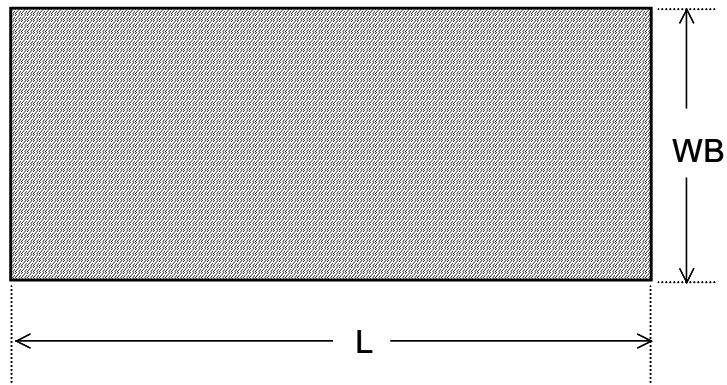


Figure 1b – Another side of the Board A

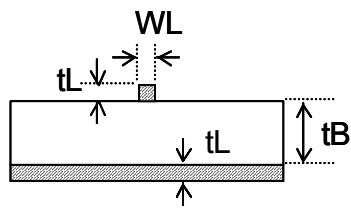


Figure 1c – Cross section between X1 and X2 of Board A

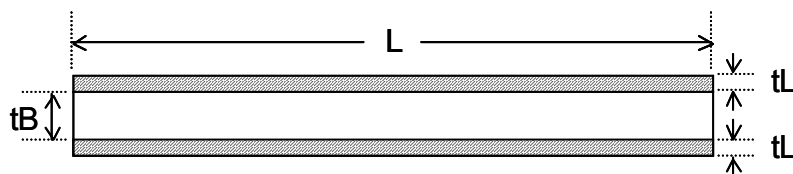


Figure 1d – Cross section between Y1 and Y2 of Board A

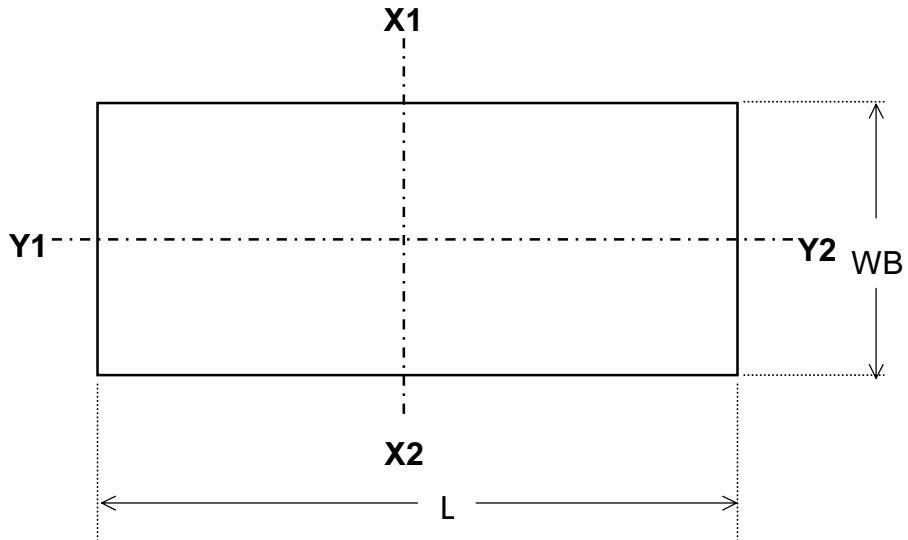


Figure 2a – One side of the Board B

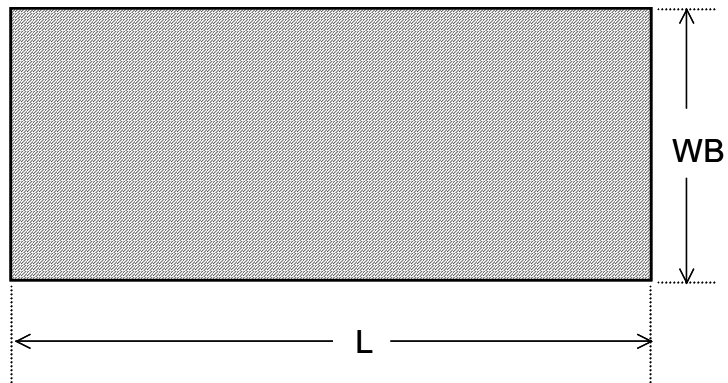
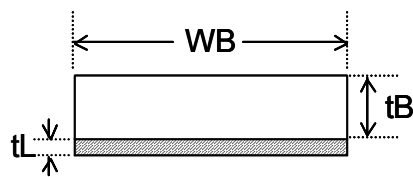
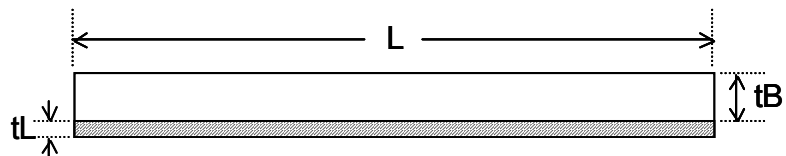


Figure 2b – Another side of the Board B

Figure 2c – Cross section between $X1$ and $X2$ of Board BFigure 2d – Cross section between $Y1$ and $Y2$ of Board B

where:

L is the length of test vehicle in m.

WB is the width of test vehicle in m.

WL is the width of conductor line in m.

tB is the thickness of test vehicle in m.

tL is the thickness of conductor line in m.

5. TEST FIXTURE

- a) Test fixture consists of two coaxial connectors and metallic box made by SUS etc.
- b) Type of coaxial connectors shall be type for high frequency measurement.
- c) Thickness of metallic board for metallic box shall be more than 0.6mm.
- d) Gap distance shall be from 0.01mm to 0.5mm.

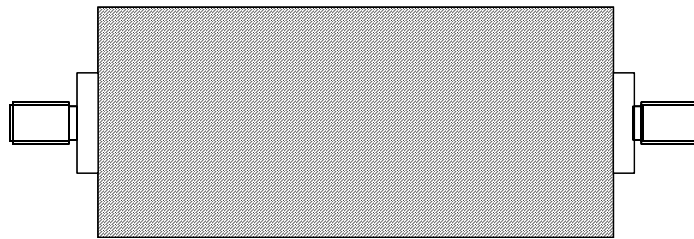


Figure 3a – Top view of test fixture

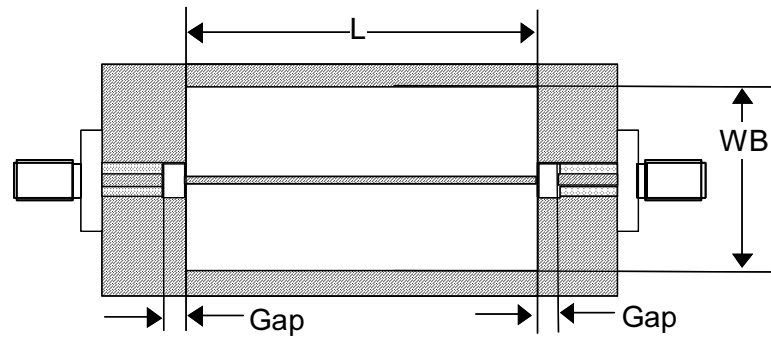


Figure 3b – Horizontal cross section of test fixture with test set

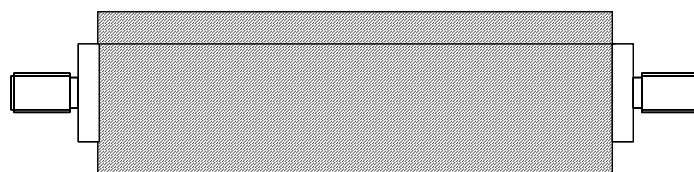


Figure 3c – Side view of test fixture



Figure 3d – Vertical cross section of test fixture with test set

6. TEST EQUIPMENT

- a) Vector network analyser (VNA) shall be used.
- b) Dynamic range of VNA shall be more than 50dB
- c) Frequency range of VNA shall be 100MHz to over 10GHz.

7. PROCEDURE

7.1 Measurements

7.1.1 Electrical measurements

- a) Electrical measurement shall be done by using VNA and fixture.
- b) Measurement conditions shall be set in VNA, such as frequency, measurement point, averaging number and smoothing level.
- c) VNA shall be calibrated with coaxial cables in the range of measurement frequency.
- d) Coaxial connectors of test fixture shall be connected with coaxial cables.
- e) Test set shall be set faced conductive line side of Board A and dielectric side of Board B in test fixture box.
- f) Dummy board and top board of test fixture shall be set on test set.
- g) Resonance figure of S21 shall be checked on the monitor of VNA. The example is shown in Figure4.
- h) Data of S21 shall be stored to storage device. This data should be raw data for calculation.

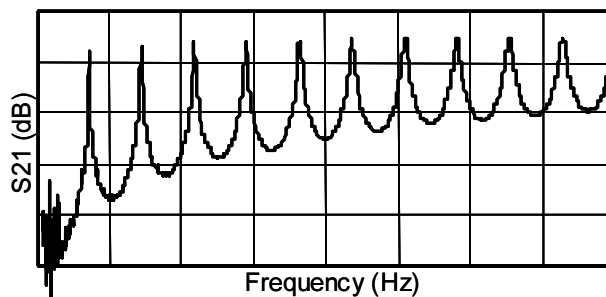


Figure 4 – An example of VNA raw data

7.1.2 Measurements of line length

Line length shall be measured $\pm 0.1\text{mm}$ tolerance.

7.1.3 Measurements of thickness

Thickness of dielectric and conductor of test specimens shall be measured $\pm 0.001\text{mm}$ tolerance.

7.2 Calculations

7.2.1 Dielectric constant

Dielectric constant (ϵ_r) shall be calculated as follows:

$$\epsilon_r = \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{c}{f_m} \cdot \frac{m}{2(L+\Delta L)} \right)^2 \quad m = 1,2,3,\dots \quad [1]$$

where:

λ_0 is the wavelength in vacuum.

λ is the wavelength under test.

c is the speed of light (2.9978×10^8 m/s).

m is the number (1,2,3,.....).

f_m is the resonant frequency at number m in Hz.

L is the line length of test set in m.

ΔL is the total effective increase length of the resonator in m.

7.2.2 Dissipation factor

a) Maximal envelope and minimal envelope shall be calculated from raw data.

b) Attenuation factor (α) shall be calculated as follows:

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{1+U}{1-U} \right) \cdot \frac{1}{L+\Delta L} \cdot 8.686 \quad (\text{dB/m}) \quad [2]$$

$$U = 10^{\frac{P}{20}} \quad [3]$$

where:

P is the difference of maximal envelope and minimal envelope in dB.

c) Because α is the sum of conductive loss factor (α_c) and dielectric loss factor (α_d), α_d shall be calculated as follows:

$$\alpha_d = \alpha - \alpha_c \quad (\text{dB/m}) \quad [4]$$

d) α_c in equation [4] shall be calculated as follows:

$$\alpha_c = \frac{0.0231 R_s \epsilon_r Z_0}{30\pi(tB-tL)} \left[1 + \frac{2WL}{tB-tL} + \frac{1}{\pi} \cdot \frac{tB+tL}{tB-tL} \cdot \ln \left(\frac{2tB-tL}{tL} \right) \right] \quad (\text{dB/m}) \quad [5]$$

$$R_s = \sqrt{\pi \mu_0 f_m \rho} \quad (\Omega) \quad [6]$$

$$Z_0 = \frac{30\pi}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \frac{1 - tL/tB}{WL/tB + C_f/\pi} \quad (\Omega) \quad [7]$$

$$C_f = 2 \cdot \ln \left[\frac{1}{1 - tL/tB} + 1 \right] - \frac{tL}{tB} \cdot \ln \left[\frac{1}{(1 - tL/tB)^2} - 1 \right] \quad [8]$$

where:

R_s is the surface resistance in Ω .

Z_0 is the characteristic impedance of test set in Ω .

tB is the thickness of dielectric in m.

tL is the thickness of conductor line in m.

WL is the width of conductor line in m.

μ_0 is the magnetic permeability in vacuum, $4\pi \times 10^{-7}$ H/m.

ρ is the resistivity of copper, 1.72×10^{-8} Ωm . In the case of special copper foil, ρ shall be used specific value.

e) Because α_d is calculated by equation [9], dissipation factor ($\tan \delta$) shall be calculated by equation [10].

$$\alpha_d = \frac{8.686 \pi f_m \sqrt{\epsilon_r}}{c} \cdot \tan \delta \quad (\text{dB/m}) \quad [9]$$

$$\tan \delta = \frac{\alpha_d c}{8.686 \pi f_m \sqrt{\epsilon_r}} \quad [10]$$

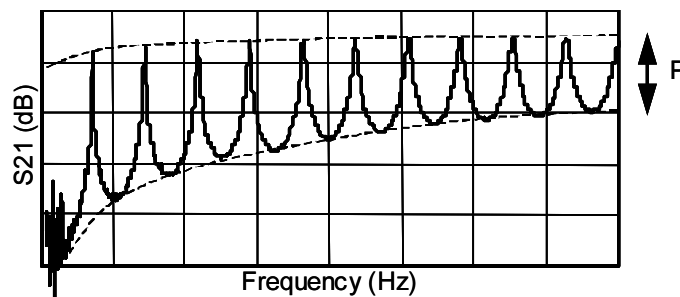


Figure 5 – Envelopes of raw data from VNA measurement

8. REPORT

The report shall include:

- a) the test number and revision.
- b) the identification and description of the material tested.
- c) the dielectric constant and the average with frequency.
- d) the dissipation factor and the average with frequency.
- e) the date of the test.
- f) temperature and humidity under test.
- g) any deviation from the test method.
- h) the name of the person conducting the test.

本書に関して、ご意見、ご要望等がありましたら、本用紙にご記入の上、工業会事務局（Fax 03-5310-2021, e-mail: std@jpca.org）までご送付下さい。次回改訂の際に参考とさせていただきます。

会社名		氏名	
		役職	
住所	〒 ☎		

————— 禁 無 断 転 載 —————

J P C A 規 格
プリント配線板用銅張積層板試験方法
比誘電率及び誘電正接 (500MHz~10GHz)

平成 19 年 5 月 24 日 第 1 版第 1 刷発行

編集兼
長 嶋 紀 孝
発行人

発行所

社団法人 日本電子回路工業会
〒167-0042 東京都杉並区西荻北 3-12-2
回路会館 2 階
Tel 03-5310-2020
Fax 03-5310-2021

J P C A 規格は、工業所有権（特許、実用新案、意匠、商標その他）の抵触の有無に関係なく制定されており、J P C A 規格の発行者は、工業所有権に関する責任義務は一切負いません。

Copyright of this report belongs to the Japan Electronics Packaging and Circuits Association.
Reproduction in any way is forbidden without written permission from Japan Electronics Packaging and Circuits Association.

Date of Issue: May 2007
Publishing Office: Japan Electronics Packaging and Circuits Association
Kairo Kaikan 2F, 12-2 Nishiogikita 3-chome,
Suginami-ku, Tokyo 167-0042 Japan
Phone: +81-3-5310-2020 Fax: +81-3-5310-2021
e-mail: std@jpca.org

JPCA