

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Waveguide type dielectric resonators –
Part 1-5: General information and test conditions – Measurement method of
conductivity at interface between conductor layer and dielectric substrate at
microwave frequency**

**Résonateurs diélectriques à modes guidés –
Partie 1-5: Informations générales et conditions d'essais – Méthode de mesure
de la conductivité au niveau de l'interface entre une couche conductrice et un
substrat diélectrique fonctionnant aux hyperfréquences**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.140

ISBN 978-2-8322-2721-3

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references.....	6
3 Measurement and related parameters	6
4 Calculation equations for R_i and σ_i	8
5 Preparation of specimen	12
6 Measurement equipment and apparatus.....	12
6.1 Measurement equipment	12
6.2 Measurement apparatus.....	12
7 Measurement procedure	13
7.1 Set-up of measurement equipment and apparatus.....	13
7.2 Measurement of reference level.....	13
7.3 Measurement procedure of Q_U	13
7.4 Determination of σ_i and measurement uncertainty	15
8 Example of measurement result.....	15
Annex A (informative) Derivation of Equation (4) for R_i	17
Annex B (informative) Calculation uncertainty of parameters in Figure 3	19
Bibliography	20
Figure 1 – Surface resistance R_S , surface conductivity σ_S , interface resistance R_i , and interface conductivity σ_i	7
Figure 2 – TE _{01δ} mode dielectric rod resonator to measure σ_i	8
Figure 3 – Parameters chart of f_0 , g , P_{ROD} and P_{SUB} for reference sapphire rod.....	10
Figure 4 – Parameters chart of f_0 , g , P_{ROD} and P_{SUB} for reference (Zr,Sn)TiO ₄ rod.....	11
Figure 5 – Schematic diagram of measurement equipments.....	12
Figure 6 – Schematic diagram of measurement apparatus for σ_i	13
Figure 7 – Frequency response for reference sapphire rod with two dielectric substrates as shown in Figure 2.....	14
Figure 8 – Resonance frequency f_0 , insertion attenuation IA_{0-} and half-power band width f_{BW}	15
Table 1 – Specifications of reference rods.....	9
Table 2 – ε'_{rod} and $\tan\delta_{rod}$ of reference rods measured by the method of IEC 61338-1-3	15
Table 3 – ε'_{sub} and $\tan\delta_{sub}$ of an LTCC test substrate measured by the method of IEC 62562	16
Table 4 – Measurement results of σ_i and σ_{ri} of a copper layer in LTCC substrate.....	16
Table B 1 – Parameters obtained by FEM and rigorous analysis of IEC 61338-1-3 for the TE ₀₁₁ mode resonator	19
Table B.2 – Calculated parameters f_0 , g , P_{rod} , P_{sub} , R_i , σ_i and σ_{ri} for the TE _{01δ} mode resonator.....	19

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

WAVEGUIDE TYPE DIELECTRIC RESONATORS –**Part 1-5: General information and test conditions –
Measurement method of conductivity at interface between
conductor layer and dielectric substrate at microwave frequency**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.

International Standard IEC 61338-1-5 has been prepared by IEC technical committee 49: Piezoelectric, dielectric and electrostatic devices and associated materials for frequency control, selection and detection.

This first edition cancels and replaces IEC PAS 61338-1-5 published in 2010.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) description of technical content related to patents (Japanese patent numbers JP3634966, JP3735501) in the Introduction;
- b) changes to normative references;
- c) addition to bibliography.

The text of this standard is based on the following documents:

CDV	Report on voting
49/1089/CDV	49/1103/RVC

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts in the IEC 61338 series, published under the general title *Waveguide type dielectric resonators*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

INTRODUCTION

IEC 61338 consists of the following parts, under the general title *Waveguide type dielectric resonators*:

- Part 1: Generic specification
- Part 1-3: General information and test conditions – Measurement method of complex relative permittivity for dielectric resonator materials at microwave frequency
- Part 1-4: General information and test conditions – Measurement method of complex relative permittivity for dielectric resonator materials at millimeter-wave frequency
- Part 2: Guidelines for oscillator and filter applications
- Part 4: Sectional specification
- Part 4-1: Blank detail specification

The International Electrotechnical Commission (IEC) draws attention to the fact that it is claimed that compliance with this document may involve the use of a patent concerning:

- The use of a $TE_{01\delta}$ mode dielectric rod resonator for the interface resistance and the interface conductivity measurement, given in Clause 4;
- The use of a substrate/conductor/substrate layer structure, where a conductor is formed between two dielectric substrates, for the interface resistance and interface conductivity measurement, given in Clause 5.

IEC takes no position concerning the evidence, validity and scope of this patent right.

The holder of this patent right has assured the IEC that he/she is willing to negotiate licences under reasonable and non-discriminatory terms and conditions with applicants throughout the world. In this respect, the statement of the holder of this patent right is registered with IEC. Information may be obtained from:

KYOCERA Corporation

6 Takeda Tobadono-cho, Fushimiku, Kyoto 612-8501, Japan

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this standard may be the subject of patent rights other than those identified above. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

ISO (www.iso.org/patents) and IEC (<http://patents.iec.ch>) maintain on-line data bases of patents relevant to their standards. Users are encouraged to consult the data bases for the most up to date information concerning patents.

WAVEGUIDE TYPE DIELECTRIC RESONATORS –

Part 1-5: General information and test conditions – Measurement method of conductivity at interface between conductor layer and dielectric substrate at microwave frequency

1 Scope

Microwave circuits are popularly formed on multi-layered organic or non-organic substrates. In the microwave circuits, the attenuation of planar transmission lines such as striplines, microstrip lines, and coplanar lines are determined by their conductor loss, dielectric loss and radiation loss. Among them, the conductor loss is a major factor in the attenuation of the planar transmission lines. A new measurement method is standardized in this document to evaluate the conductivity of transmission line on or in the substrates such as the organic, ceramic and LTCC (low temperature co-fired ceramics) substrates. This standard describes a measurement method for resistance and effective conductivity at the interface between conductor layer and dielectric substrate, which are called interface resistance and interface conductivity.

This measurement method has the following characteristics:

- the interface resistance R_i is obtained by measuring the resonant frequency f_0 and unloaded quality factor Q_u of a $TE_{01\delta}$ mode dielectric rod resonator shown in Figure 2;
- the interface conductivity σ_i and the relative interface conductivity $\sigma_{ri} = \sigma_i / \sigma_0$ are calculated from the measured R_i value, where $\sigma_0 = 5,8 \times 10^7$ S/m is the conductivity of standard copper;
- the measurement uncertainty of σ_{ri} ($\Delta\sigma_{ri}$) is less than 5 %.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 61338-1-3: *Waveguide type dielectric resonators – Part 1-3: General information and test conditions – Measurement method of complex relative permittivity for dielectric resonator materials at microwave frequency*

IEC 62562: *Cavity resonator method to measure the complex permittivity of low-loss dielectric plates*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	23
INTRODUCTION.....	25
1 Domaine d'application.....	26
2 Références normatives.....	26
3 Mesure et paramètres associés.....	26
4 Equations de calcul pour R_i et σ_i	28
5 Préparation des spécimens.....	32
6 Equipements et appareillage de mesure.....	32
6.1 Equipements de mesure.....	32
6.2 Appareillage de mesure.....	32
7 Procédure de mesure.....	33
7.1 Montage de l'équipement et de l'appareillage de mesure.....	33
7.2 Mesure du niveau de référence.....	33
7.3 Procédure de mesure de Q_U	33
7.4 Détermination de σ_i et incertitude de mesure.....	35
8 Exemple de résultat de mesure.....	35
Annexe A (informative) Dérivation de l'Equation (4) pour R_i	37
Annexe B (informative) Incertitude de calcul des paramètres de la Figure 3.....	39
Bibliographie.....	40
Figure 1 – Résistance de surface R_S , conductivité de surface σ_S , résistance d'interface R_i et conductivité d'interface σ_i	27
Figure 2 – Résonateur en barreau diélectrique en mode $TE_{01\delta}$ pour la mesure de σ_i	28
Figure 3 – Représentation des paramètres f_0 , g , P_{rod} et P_{sub} pour un barreau de saphir de référence.....	30
Figure 4 – Représentation des paramètres f_0 , g , P_{rod} et P_{sub} pour un barreau $(Zr,Sn)TiO_4$ de référence.....	31
Figure 5 – Représentation schématique d'équipements de mesure.....	32
Figure 6 – Représentation schématique d'un appareillage de mesure pour σ_i	33
Figure 7 – Réponse en fréquence pour un barreau de saphir de référence avec deux substrats diélectriques comme représenté sur la Figure 2.....	34
Figure 8 – Fréquence de résonance f_0 , affaiblissement d'insertion et bande passante à mi-puissance f_{BW}	35
Tableau 1 – Spécifications de barreaux de référence.....	29
Tableau 2 – Valeurs ε'_{rod} et $\tan\delta_{rod}$ des barreaux de référence mesurées par la méthode de l'IEC 61338-1-3.....	36
Tableau 3 – Valeurs ε'_{sub} et $\tan\delta_{sub}$ d'un substrat d'essai LTCC mesurées par la méthode de l'IEC 62562.....	36
Tableau 4 – Résultats de mesure de σ_i et σ_{ri} d'une couche de cuivre dans un substrat LTCC.....	36
Tableau B.1 – Paramètres obtenus par la méthode des éléments finis (MEF) et par l'analyse rigoureuse de l'IEC 61338-1-3 pour le résonateur en mode TE_{011}	39
Tableau B.2 – Paramètres calculés f_0 , g , P_{rod} , P_{sub} , R_i , σ_i et σ_{ri} pour le résonateur en mode $TE_{01\delta}$	39

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

RÉSONATEURS DIÉLECTRIQUES À MODES GUIDÉS –

**Partie 1-5: Informations générales et conditions d'essais –
Méthode de mesure de la conductivité au niveau de l'interface
entre une couche conductrice et un substrat diélectrique
fonctionnant aux hyperfréquences**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.

La Norme internationale IEC 61338-1-5 a été établie par le comité d'études 49 de l'IEC: Dispositifs piézoélectriques, diélectriques et électrostatiques et matériaux associés pour la détection, le choix et la commande de la fréquence.

Cette première édition annule et remplace l'IEC PAS 61338-1-5 parue en 2010.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) description de contenu technique lié à des brevets (brevets japonais numéro JP3634966 et JP3735501) dans l'Introduction ;
- b) modifications de références normatives ;
- c) ajout bibliographique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
49/1089/CDV	49/1103/RVC

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61338, publiées sous le titre général *Résonateurs diélectriques à modes guidés*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

INTRODUCTION

L'IEC 61338 comprend les parties suivantes, publiées sous le titre général *Résonateurs diélectriques à modes guidés*:

- Partie 1: Spécification générique
- Partie 1-3: Informations générales et conditions d'essais – Méthode de mesure de la permittivité relative complexe des matériaux diélectriques pour résonateurs diélectriques fonctionnant aux hyperfréquences
- Partie 1-4: Informations générales et conditions d'essais – Méthode de mesure de la permittivité relative complexe des matériaux des résonateurs diélectriques fonctionnant à des fréquences millimétriques
- Partie 2: Lignes directrices pour l'application aux filtres et aux oscillateurs
- Partie 4: Spécification intermédiaire
- Partie 4-1: Spécification particulière-cadre

La Commission électrotechnique internationale (IEC) attire l'attention sur le fait qu'il est déclaré que la conformité avec les dispositions du présent document peut impliquer l'utilisation d'un brevet concernant:

- L'utilisation d'un résonateur en barreau diélectrique en mode $TE_{01\delta}$ pour la mesure de la résistance d'interface et de la conductivité d'interface, résonateur présenté à l'Article 4;
- L'utilisation d'une structure en couches substrat/conducteur/substrat, dans laquelle un conducteur est formé entre deux substrats diélectriques, pour la mesure de la résistance d'interface et de la conductivité d'interface, structure présentée à l'Article 5.

L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à la portée de ces droits de propriété.

Le détenteur de ces droits de propriété a donné l'assurance à l'IEC qu'il consent à négocier des licences avec des demandeurs du monde entier, soit sans frais, soit à des termes et conditions raisonnables et non discriminatoires. A ce propos, la déclaration du détenteur des droits de propriété est enregistrée à l'IEC. Des informations peuvent être demandées à:

KYOCERA Corporation

6 Takeda Tobadono-cho, Fushimiku, Kyoto 612-8501, Japon

L'attention est d'autre part attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété autres que ceux qui ont été mentionnés ci-dessus. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de l'identification de ces droits de propriété en tout ou partie.

L'ISO (www.iso.org/patents) et l'IEC (<http://patents.iec.ch>) maintiennent des bases de données, consultables en ligne, des droits de propriété pertinents à leurs normes. Les utilisateurs sont encouragés à consulter ces bases de données pour obtenir l'information la plus récente concernant les droits de propriété.

RÉSONATEURS DIÉLECTRIQUES À MODES GUIDÉS –

Partie 1-5: Informations générales et conditions d'essais – Méthode de mesure de la conductivité au niveau de l'interface entre une couche conductrice et un substrat diélectrique fonctionnant aux hyperfréquences

1 Domaine d'application

Les circuits hyperfréquences sont souvent formés sur des substrats organiques ou non organiques multicouches. Dans les circuits hyperfréquences, l'affaiblissement des lignes de transmission planaires telles que les lignes à ruban, les lignes à microruban et les lignes coplanaires, est déterminé par les pertes dans les conducteurs, les pertes diélectriques et les pertes par rayonnement. Parmi ces pertes, les pertes dans les conducteurs contribuent fortement à l'affaiblissement des lignes de transmission planaires. Une nouvelle méthode de mesure est normalisée dans le présent document pour évaluer la conductivité d'une ligne de transmission sur ou dans les substrats, par exemple les substrats organiques, les substrats en céramique et les substrats en céramique cofrittée à basse température. La présente norme décrit une méthode de mesure de la résistance et de la conductivité efficace au niveau de l'interface entre la couche conductrice et le substrat diélectrique, appelées résistance d'interface et conductivité d'interface.

Les caractéristiques de cette méthode de mesure sont les suivantes:

- la résistance d'interface R_i est obtenue en mesurant la fréquence de résonance f_0 et le facteur de qualité à vide Q_u d'un résonateur en barreau diélectrique en mode $TE_{01\delta}$ représenté à la Figure 2;
- la conductivité d'interface σ_i et la conductivité d'interface relative $\sigma_{ri} = \sigma_i / \sigma_0$ sont calculées à partir de la valeur R_i mesurée, où $\sigma_0 = 5,8 \times 10^7$ S/m est la conductivité de référence du cuivre;
- l'incertitude de mesure de σ_{ri} ($\Delta\sigma_{ri}$) est inférieure à 5 %.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 61338-1-3, *Résonateurs diélectriques à modes guidés – Partie 1-3: Informations générales et conditions d'essais – Méthode de mesure de la permittivité relative complexe des matériaux diélectriques pour résonateurs diélectriques fonctionnant aux hyperfréquences*

IEC 62562, *Méthode de la cavité résonante pour mesurer la permittivité complexe des plaques diélectriques à faibles pertes*