

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Semiconductor devices – Semiconductor devices for energy harvesting and generation –
Part 2: Thermo power based thermoelectric energy harvesting**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs à semiconducteurs pour
recupération et production d'énergie –
Partie 2: Récupération d'énergie thermoélectrique basée sur la puissance
thermoélectrique**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2017 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.



IEC 62830-2

Edition 1.0 2017-01

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Semiconductor devices – Semiconductor devices for energy harvesting and generation –
Part 2: Thermo power based thermoelectric energy harvesting**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs à semiconducteurs pour récupération et production d'énergie –
Partie 2: Récupération d'énergie thermoélectrique basée sur la puissance thermoélectrique**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-8322-3830-1

**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
1 Scope.....	5
2 Normative references	5
3 Terms and definitions	5
4 Testing methods	6
4.1 General.....	6
4.2 Thermo-power measurement	6
4.2.1 Integral method	6
4.2.2 Differential method	8
4.3 Thermal conductivity measurement.....	11
4.3.1 General	11
4.3.2 Transient 3 ω method	12
4.3.3 Test report.....	13
Annex A (informative) Thermoelectric energy generator.....	14
Bibliography.....	15
Figure 1 – Schematic diagram of integral method for measurement of the thermo-power of thermoelectric materials	7
Figure 2 – Schematic diagram of the differential method for measuring the thermo-power	9
Figure 3 – Diagram of the setup for measuring electrical resistivity and Seebeck coefficient using differential method	10
Figure 4 – Schematic diagram of measuring in-plane thermal conductivity of thin film on the substrate.....	12
Figure 5 – The MEMS structure for measuring thermal conductivity of thin film materials using transient 3 ω method.....	12

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SEMICONDUCTOR DEVICES – SEMICONDUCTOR DEVICES FOR ENERGY HARVESTING AND GENERATION –

Part 2: Thermo power based thermoelectric energy harvesting

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.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62830-2 has been prepared by IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

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

FDIS	Report on voting
47/2329/FDIS	47/2352/RVD

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

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

A list of all the parts in the IEC 62830 series, published under the general title *Semiconductor devices – Semiconductor devices for energy harvesting and generation*, can be found on the IEC website.

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

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

SEMICONDUCTOR DEVICES – SEMICONDUCTOR DEVICES FOR ENERGY HARVESTING AND GENERATION –

Part 2: Thermo power based thermoelectric energy harvesting

1 Scope

This part of IEC 62830 describes procedures and definitions for measuring the thermo power of thin films used in micro-scale thermoelectric energy generators, micro heaters and micro coolers. This part of IEC 62830 specifies the methods of tests and the characteristic parameters of the thermoelectric properties of wire, bulk and thin films which have a thickness of less than 5 μm and energy harvesting devices that have thermoelectric thin films, in order to accurately evaluate their performance and practical uses. This part of IEC 62830 is applicable to energy harvesting devices for consumer, general industries, military and aerospace applications without any limitations of device technology and size.

2 Normative references

There are no normative references in this document.

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1

Seebeck coefficient

S

magnitude of an induced thermoelectric voltage in response to a temperature difference across a material, and the entropy per charge carrier in the material

3.2

thermal conductivity

k

at a point fixed in a medium with a temperature field, scalar quantity λ characterizing the ability of the medium to transmit heat through a surface element containing that point: $\varphi = -k \text{ grad } T$, where φ is the density of heat flow rate and T is thermodynamic temperature

Note 1 to entry: In an anisotropic medium, thermal conductivity is a tensor quantity.

Note 2 to entry: The coherent SI unit of thermal conductivity is watt per metre kelvin, $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

[SOURCE: IEC 60050-113:2011, 113-04-38]

3.3

electrical conductivity specific conductance

σ

value of a material's ability to conduct an electrical current

3.4

<thermoelectric energy harvesting>

figure of merit

Z

characteristic value of thermoelectric films given by the convolution of electrical conductivity and the square of the Seebeck coefficient divided by thermal conductivity

4 Testing methods

4.1 General

It is indispensable to measure the thermo-power to establish the thermoelectric devices. The electrical resistivity and the thermopower shall be measured in order to define the thermoelectric properties of the materials used for fabrication of thermoelectric devices. Generally to measure these values the materials should be investigated under temperature from between 3 K and 300 K. There are two types of measuring methods for thermo-power measurement. The first is the integral method and the other is the differential method. In case of measuring the electrical conductance the electrical resistivity is to be measured and the reciprocal number of the measured value is to be used. A four-point probe method is typically used in electrical resistivity. When this method is used, the total voltage drop can be measured by the sum of resistive voltage and Seebeck voltage. To obtain resistive voltage without the Seebeck-induced voltage, very fast switching DC or AC measurement is needed to measure the electrical resistivity. In addition, the sample will be prepared of a wire type which has a diameter under 200 μm and thin films which have been deposited onto the silicon substrate with a 100 nanometer insulating layer.

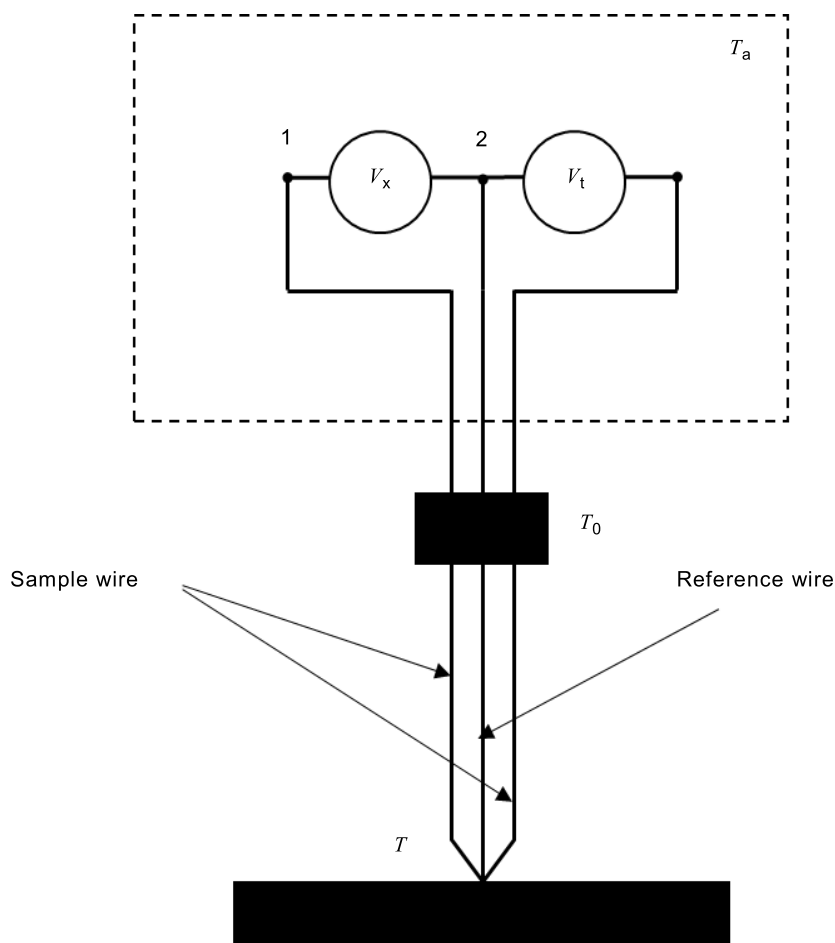
4.2 Thermo-power measurement

4.2.1 Integral method

4.2.1.1 General

The integral method is a very simple method of obtaining the thermo-power value for thermoelectric materials. The generated voltage change between the reference material and sample material is used for the calculation of the thermo-power value of the materials. In this method the materials shall be fabricated in wire form to make a thermocouple form. The third thermocouple can be attached to the hot junction of the reference and sample wire to measure the temperature of the junction.

The schematic diagram of the integral method to measure the thermo-power of thermoelectric materials is shown in Figure 1.

**Key**

- T : temperature to be measured T_a : temperature of ambient
 T_0 : temperature of cold junction
 V_x, V_t : voltmeter which can measure the voltage drop

Figure 1 – Schematic diagram of integral method for measurement of the thermo-power of thermoelectric materials

At the thermocouple of the measured material and the reference the potential difference can be measured using equations (1) and (2).

$$\Delta V = -\int_{term1}^{term2} E dl = -\int_{term1}^{term2} \alpha \nabla T dl \quad (1)$$

Or

$$\Delta V = -\left(\int_{T_a}^{T_0} \alpha_{Cu} dT + \int_{T_0}^T \alpha_x dT + \int_T^{T_0} \alpha_{ref} dT + \int_{T_0}^{T_a} \alpha_{Cu} dT \right) = -\int_{T_0}^{T_a} (\alpha_x - \alpha_{ref}) dT \quad (2)$$

where T_0 is temperature of cold junction of the thermocouples and T_a is usually absolute value of $T_0 = 274,15$ K. As shown in the equation (3), the numerical differentiation of the measured voltage change of the thermocouple has been derived.

$$\frac{d\Delta V}{dT} = -(\alpha_x - \alpha_{ref})_T \quad (3)$$

Finally the value of the sample wire's thermo-power is obtained using equation (4) when the thermo-power of the reference material has been already known.

$$\alpha_x(T) = -\left(\frac{d\Delta V}{dT}\right)_T + \alpha_{ref}(T) \quad (4)$$

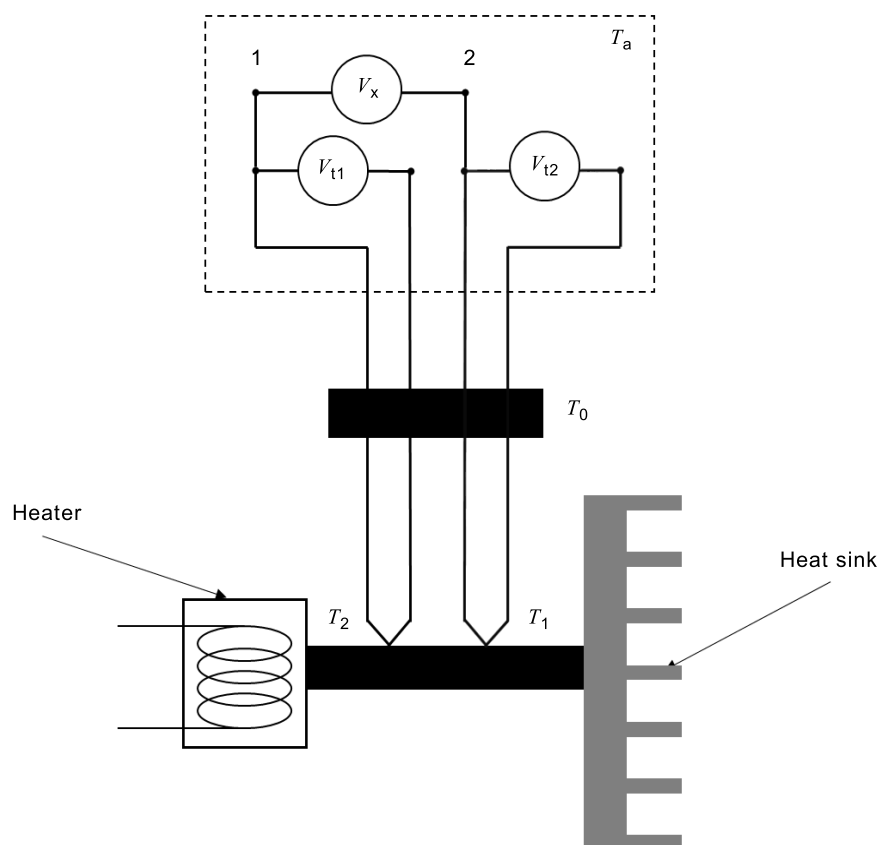
4.2.1.2 Test procedure

- a) Form a wire of sample material using any kind of method to make a wire form.
- b) Join the sample material wire and reference wire for using hot junction.
- c) Attach another third wire for measuring the temperature of hot junction.
- d) Place one voltmeter between the third wire and reference wire.
- e) Place the other voltmeter between the reference wire and the sample wire
- f) Read the voltage difference between the sample and reference wire.
- g) Calculate the thermo-power using equation (4).

4.2.2 Differential method

4.2.2.1 General

The differential method is measuring two points of material to be measured. The potential difference can be also measured simultaneously when the net current through the sample is zero. At that time the electrical field in the measuring sample is given by $E = \alpha \Delta T$ which is due to thermo-power. In Figure 2 the schematic diagram of the differential method for measuring thermo-power is shown.



IEC

Key

T_1, T_2 :	temperature to be measured	T_a :	temperature of ambient
T_0 :	temperature of cold junction		
V_x, V_{t1}, V_{t2} :	voltmeter which can measure the voltage drop		

Figure 2 – Schematic diagram of the differential method for measuring the thermo-power

When the thermocouple wires and the sample are joined homogeneously, measuring errors can be minimized and equations (5), (6) and (7) can be used for calculation of the thermo-power of the materials. Under these conditions potential difference is given by the equation.

$$\Delta V = - \left(\int_{T_a}^{T_0} \alpha_{Cu} dT + \int_{T_0}^{T_1} \alpha_{ref}^1 dT + \int_{T_1}^{T_2} \alpha_x dT + \int_{T_2}^{T_0} \alpha_{ref}^2 dT + \int_{T_0}^{T_a} \alpha_{Cu} dT \right) \quad (5)$$

For a homogeneous reference wire the second and the fourth integral terms can be merged and the equation (5) can be modified into a more simple equation (6).

$$\Delta V = - \int_{T_1}^{T_2} (\alpha_x - \alpha_{ref}) dT \quad (6)$$

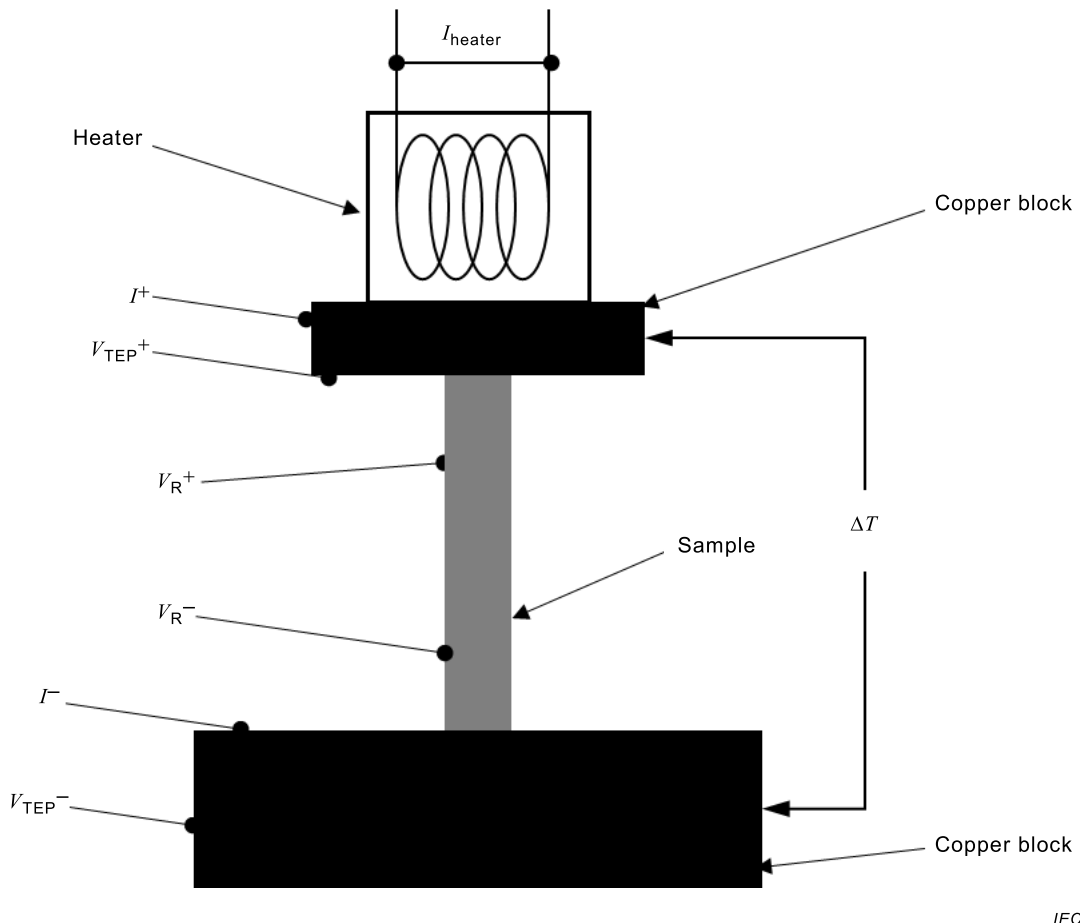
If the temperature difference is only given by the difference between point 1 and point 2, the final simplified form is given as shown in equation (7).

$$\alpha_x(T_{av}) = - \frac{\Delta V}{\Delta T} + \alpha_{ref}(T_{av}) \quad (7)$$

when the T_{av} is given by the half of the sum of the T_1 and T_2 .

4.2.2.2 Test Procedure

The diagram of the setup for the measurement of the resistivity and Seebeck coefficient of bulk materials using the differential method is shown in Figure 3.



IEC

Key

ΔT : temperature difference	I_{heater} : current for heater
I^+ : positive current	I^- : negative current
V_{R+} : resistive positive voltage	V_{R-} : resistive negative voltage
V_{TEP+} : thermoelectric positive voltage	V_{TEP-} : thermoelectric negative voltage

Figure 3 – Diagram of the setup for measuring electrical resistivity and Seebeck coefficient using differential method

In thermoelectric materials the Seebeck coefficient is relatively larger than non-thermoelectric materials. So the total voltage across the sample shall be the summation of the Seebeck voltage and the resistive or IR voltage which is given by the equation (8).

$$V_{total} = V_{IR} + \alpha \Delta T \tag{8}$$

Generally the resistive voltage has a negligible effect on the Seebeck voltage portion of the total voltage. Therefore to minimize the Seebeck effect contribution to measure the IR voltage, the measurement process should be processed very fast, for example in 2 seconds or 3 seconds. By switching the current direction the Seebeck voltage can be cancelled out using the averaging technique, as shown in equation (9).

$$V_{IR} = \frac{[V(I^+) + \alpha \Delta T] - [V(I^-) + \alpha \Delta T]}{2} \quad (9)$$

where I^+ and I^- are positive and negative current direction, respectively.

This is why AC or fast-switching DC shall be used for measuring the electrical resistivity of thermoelectric materials. Typical sample size will be (2×2) mm² or (3×3) mm² for measuring. The measuring procedure shall follow these steps:

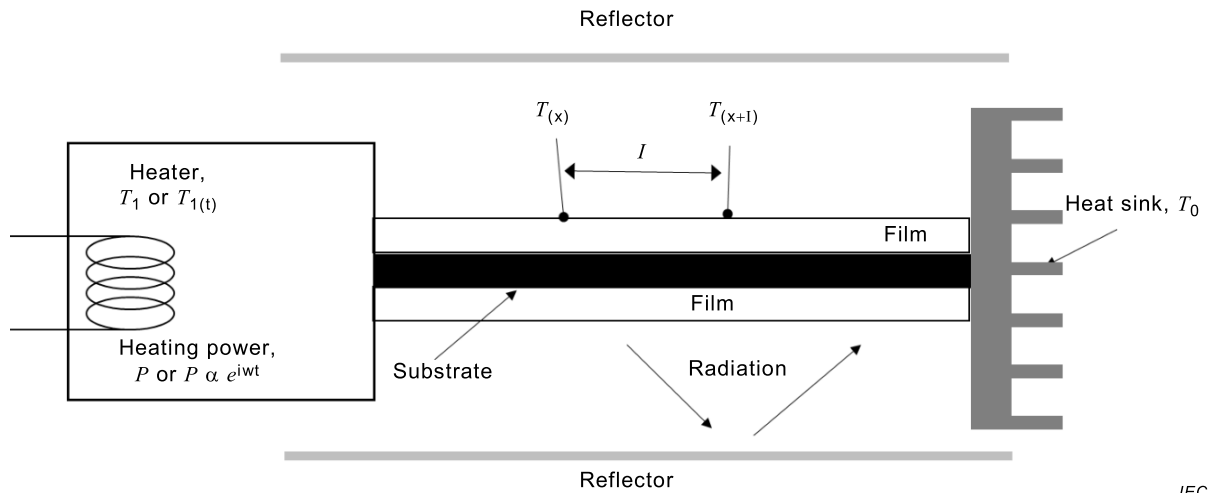
- a) Cool the Cu block to be used for heat sink
- b) Place the end side of sample on the heat sink block
- c) Attach the other side of sample to the heater
- d) Join the 4-point probe which can regulate the distance between the voltage measuring probes on the sample
- e) Apply AC or fast-switching DC to the sample
- f) Apply the heat to the sample
- g) Read out the voltage
- h) Change the current direction and wait 2 seconds or 3 seconds
- i) Measure again the steps from (e) to (g)

4.3 Thermal conductivity measurement

4.3.1 General

Measuring thermal conductivity is very difficult for thin films. Generally thin films have been fabricated by various physical vapour deposition processes. Therefore in-plane thermal conductivity and perpendicular thermal conductivity are very different in their characteristics. Therefore, in order to measure the thermal conductivity of the thin film, the effect of anisotropy and the possibility of determination of in-plane and perpendicular thermal conductivity have been considered. Figure 4 shows the principle of in-plane thermal conductivity of the thin film on the substrate. It is difficult to remove the influence of the substrate effect when the perpendicular thermal conductivity has been measured. Therefore in order to obtain a higher accuracy of thermal conductivity, the product of thermal conductivity and the thickness of the film is greater than that of the substrate. Measuring the thermal conductivity the thermal conductivity can be calculated using the heating power, as given by equation (10).

$$k = \frac{P}{db[T(x) - T(x + l)]/l} \quad (10)$$



IEC

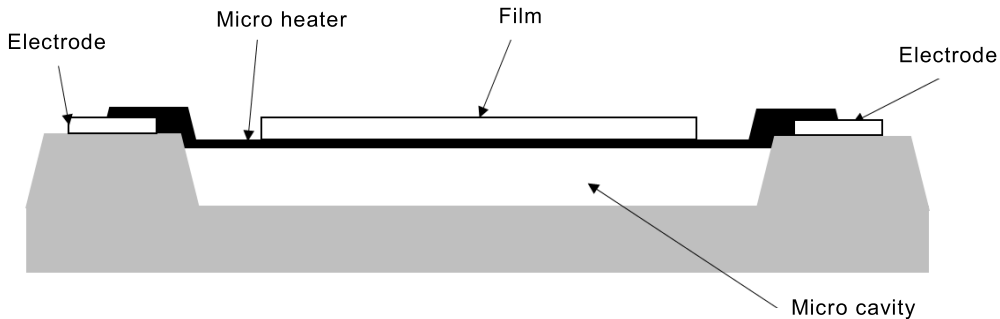
Figure 4 – Schematic diagram of measuring in-plane thermal conductivity of thin film on the substrate

4.3.2 Transient 3 ω method

The concept of the transient 3 ω method is very similar to the 4-point probe method. The point patterns for which contact probes for positive and negative voltage and current are connected by a thin strip metal line have width b which can be used for heaters and thermometers. When a sinusoidal current with angular frequency ω heats the sample applied, the thin metal strip line acts as a thermometer. At 3ω the voltage oscillation can be obtained by the resistance oscillation at 2ω and at excitation current at ω . Finally the thermal conductivity can be calculated as shown in equation (11). V_{h3} means the voltage of the third harmonics for frequencies ω_1 and ω_2 .

$$k = \frac{V^3 \ln(\omega_1/\omega_2)}{4\pi\pi l^2 [V_{h3}(\omega_2) - V_{h3}(\omega_1)]} \frac{dR}{dT} \tag{11}$$

Figure 5 shows the typical model for measuring the thermal conductivity of thin film using the transient 3 ω method. This MEMS structure can be fabricated using the conventional CMOS process. The thermal conductivity of the thin film materials will be affected by the various measuring conditions, therefore users shall describe the ambient measuring conditions.



IEC

Figure 5 – The MEMS structure for measuring thermal conductivity of thin film materials using transient 3 ω method.

4.3.3 Test report

The following information shall be included in the test report.

- a) Reference to IEC 62830
- b) The shape and the dimensions of the tested device
- c) Test conditions
 - Cold junction temperature
 - Measured temperature of the device
 - Input voltage
 - Ambient temperature
- d) Test results
 - Seebeck coefficient of the device
 - Figure of merit of the device

Annex A
(informative)

Thermoelectric energy generator

This standard handles characterizing methods of energy harvesting system consisting of harvesting semiconductor devices and conversion circuits for some applications such as WSN (Wireless Sensor Networks). The energy harvester module can consist of various energy scavenging devices using several devices based on thermoelectricity or piezoelectricity.

Bibliography

Thermoelectrics handbook – Macro to Nano, ed. D. M. Rowe, CRC press, Boca Raton, 2006

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	17
1 Domaine d'application	19
2 Références normatives	19
3 Termes et définitions	19
4 Méthodes d'essais	20
4.1 Généralités	20
4.2 Mesure de la puissance thermoélectrique	20
4.2.1 Méthode de l'intégrale	20
4.2.2 Méthode de la dérivée	22
4.3 Mesure de la conductivité thermique	25
4.3.1 Généralités	25
4.3.2 Méthode 3ω transitoire	26
4.3.3 Rapport d'essai	27
Annexe A (informative) Générateur d'énergie thermoélectrique	28
Bibliographie	29
Figure 1 – Représentation schématique de la méthode de l'intégrale pour la mesure de la puissance thermoélectrique de matériaux thermoélectriques	21
Figure 2 – Représentation schématique de la méthode de la dérivée pour mesurer la puissance thermoélectrique	23
Figure 3 – Schéma de montage pour la mesure de la résistivité électrique et du coefficient de Seebeck utilisant la méthode de la dérivée	24
Figure 4 – Représentation schématique de la mesure de la conductivité thermique dans le plan d'une couche mince sur un substrat	26
Figure 5 – Structure MEMS pour la mesure de la conductivité thermique de matériaux en couches minces utilisant la méthode 3ω transitoire	27

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS –
DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS POUR
RECUPÉRATION ET PRODUCTION D'ÉNERGIE –**

**Partie 2: Récupération d'énergie thermoélectrique
basée sur la puissance thermoélectrique**

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.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 62830-2 a été établie par le comité d'études 47 de l'IEC: Dispositifs à semiconducteurs.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
47/2329/FDIS	47/2352/RVD

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62830, publiées sous le titre général *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs à semiconducteurs pour récupération et génération d'énergie*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document 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 au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS POUR RÉCUPÉRATION ET PRODUCTION D'ÉNERGIE –

Partie 2: Récupération d'énergie thermoélectrique basée sur la puissance thermoélectrique

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62830 décrit des procédures et donne des définitions sur la mesure de la puissance thermoélectrique de couches minces utilisées dans des générateurs d'énergie thermoélectrique à très petite échelle, des microréchauffeurs ou des microrefroidisseurs. La présente partie de l'IEC 62830 spécifie les méthodes d'essais et les paramètres des caractéristiques des propriétés thermoélectriques des fils, des couches volumiques et des couches minces d'épaisseur inférieure à 5 μm ainsi que des dispositifs de récupération d'énergie dotés de couches minces thermoélectriques, afin d'évaluer avec précision leurs performances et leur utilisation pratique. La présente partie de l'IEC 62830 s'applique aux dispositifs de récupération d'énergie destinés à des applications grand public, industrielles, militaires et aérospatiales sans limitation sur la taille ni sur la technologie des dispositifs.

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1

coefficient de Seebeck

S

amplitude d'une tension thermoélectrique induite en réponse à une différence de température à travers un matériau et à l'entropie par porteur de charge dans le matériau

3.2

conductivité thermique

k

en un point fixe d'un milieu où existe un champ de température, grandeur scalaire λ caractérisant l'aptitude du milieu à transmettre la chaleur à travers un élément de surface contenant le point: $\phi = -k \text{ grad } T$, où ϕ est le flux thermique surfacique et T est la température thermodynamique

Note 1 à l'article: Dans un milieu anisotrope, la conductivité thermique est une grandeur tensorielle.

Note 2 à l'article: L'unité SI cohérente de conductivité thermique est le watt par mètre kelvin, $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

[SOURCE: IEC 60050-113:2011, 113-04-38]

3.3

conductivité électrique conductance spécifique

σ

aptitude d'un matériau à conduire un courant électrique

3.4

<récupération d'énergie thermoélectrique> facteur de mérite

Z

valeur caractéristique des couches thermoélectriques données par la convolution de la conductivité électrique et du carré du coefficient de Seebeck, divisée par la conductivité thermique

4 Méthodes d'essais

4.1 Généralités

Il est indispensable de mesurer la puissance thermoélectrique pour concevoir les dispositifs thermoélectriques. La résistivité électrique et la puissance thermoélectrique doivent être mesurées pour définir les propriétés thermoélectriques des matériaux utilisés pour fabriquer les dispositifs thermoélectriques. Il convient généralement d'étudier les matériaux à une température comprise entre 3 K et 300 K pour mesurer ces valeurs. Il existe deux types de méthodes de mesure de la puissance thermoélectrique: une méthode fondée sur une intégration et une méthode fondée sur une dérivation. En cas de mesure de la conductance électrique, la résistivité électrique doit être mesurée et l'inverse de la valeur mesurée doit être utilisé. Une méthode utilisant une sonde à quatre points est généralement utilisée pour déterminer la résistivité électrique. Lorsque cette méthode est utilisée, la chute de tension totale peut être déterminée par la somme de la tension résistive et de la tension de Seebeck. Pour obtenir la tension résistive sans la tension de Seebeck, il est nécessaire d'utiliser un courant alternatif ou un courant continu commutant très rapidement pour mesurer la résistivité électrique. De plus, l'échantillon sera préparé avec un fil de diamètre inférieur à 200 μm et des couches minces déposées sur le substrat de silicium avec une couche d'isolement de 100 nm.

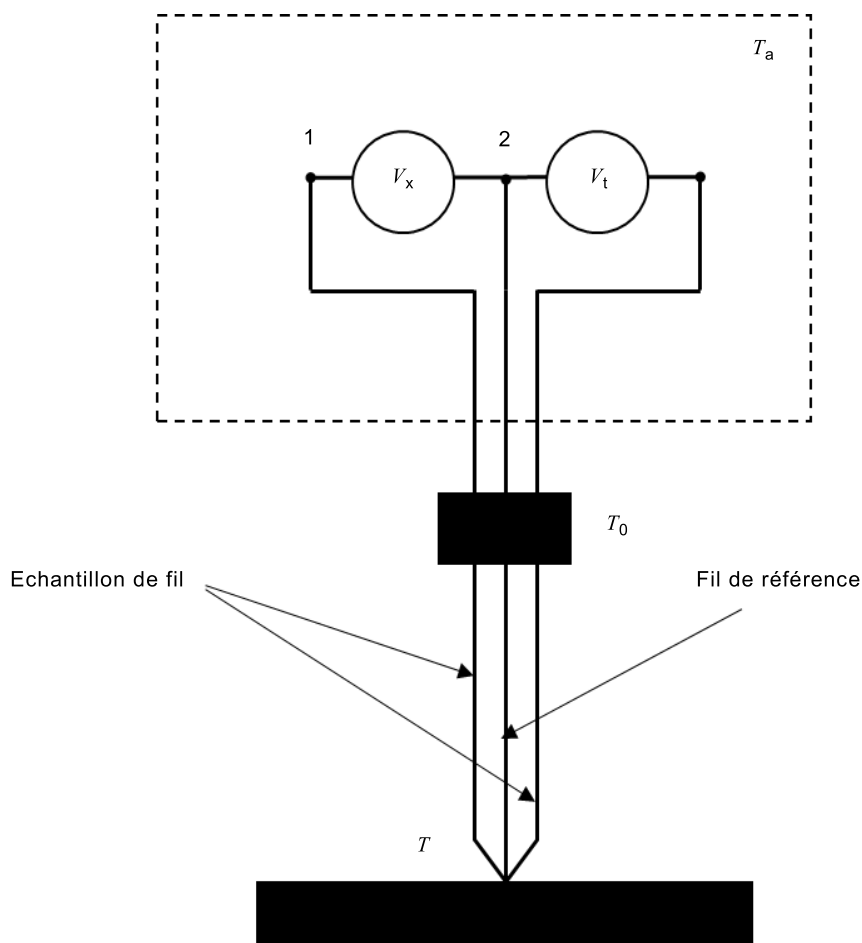
4.2 Mesure de la puissance thermoélectrique

4.2.1 Méthode de l'intégrale

4.2.1.1 Généralités

La méthode de l'intégrale permet d'obtenir simplement la valeur de la puissance thermoélectrique pour des matériaux thermoélectriques. La variation de tension générée entre le matériau de référence et l'échantillon de matériau est utilisée pour calculer la puissance thermoélectrique des matériaux. Avec cette méthode, les matériaux doivent être fabriqués sous forme de fil pour obtenir la forme d'un thermocouple. Le troisième thermocouple peut être attaché à la jonction chaude du fil de référence et de l'échantillon de fil pour mesurer la température de la jonction.

La Figure 1 est une représentation schématique de la méthode de l'intégrale pour mesurer la puissance thermoélectrique de matériaux thermoélectriques.



IEC

Légende

- T : température à mesurer T_a : température ambiante
 T_0 : température de la jonction froide
 V_x, V_t : voltmètre pouvant mesurer la chute de tension

Figure 1 – Représentation schématique de la méthode de l'intégrale pour la mesure de la puissance thermoélectrique de matériaux thermoélectriques

Au niveau du thermocouple relié au matériau mesuré et au matériau de référence, la différence de potentiel peut être mesurée en utilisant les équations (1) et (2).

$$\Delta V = -\int_{term1}^{term2} E dl = -\int_{term1}^{term2} \alpha \nabla T dl \quad (1)$$

Ou

$$\Delta V = -\left(\int_{T_a}^{T_0} \alpha_{Cu} dT + \int_{T_0}^T \alpha_x dT + \int_T^{T_0} \alpha_{ref} dT + \int_{T_0}^{T_a} \alpha_{Cu} dT \right) = -\int_{T_0}^{T_a} (\alpha_x - \alpha_{ref}) dT \quad (2)$$

où T_0 est la température de la jonction froide des thermocouples et T_a est généralement la valeur absolue de $T_0 = 274,15$ K. Comme indiqué dans l'équation (3), la dérivée numérique de la variation de tension mesurée du thermocouple a été obtenue.

$$\frac{d\Delta V}{dT} = -(\alpha_x - \alpha_{ref})_T \quad (3)$$

Finalement, la valeur de la puissance thermoélectrique de l'échantillon de fil est obtenue en utilisant l'équation (4) lorsque la puissance thermoélectrique du matériau de référence est déjà connue.

$$\alpha_x(T) = -\left(\frac{d\Delta V}{dT}\right)_T + \alpha_{ref}(T) \quad (4)$$

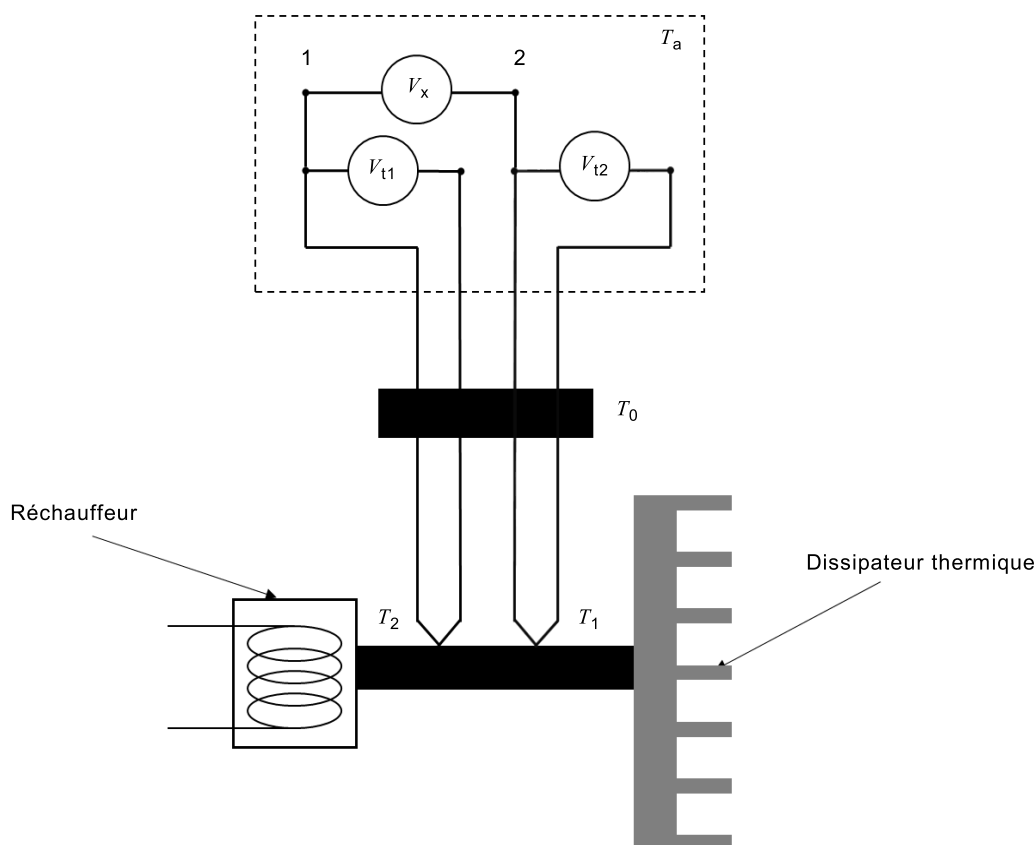
4.2.1.2 Procédure d'essai

- a) Former un fil d'échantillon de matériau en utilisant une méthode quelconque.
- b) Réaliser une jonction chaude entre l'échantillon de fil et le fil de référence.
- c) Attacher un troisième fil pour mesurer la température de la jonction chaude.
- d) Placer un voltmètre entre le troisième fil et le fil de référence.
- e) Placer l'autre voltmètre entre le fil de référence et l'échantillon de fil.
- f) Lire la différence de potentiel entre l'échantillon de fil et le fil de référence.
- g) Calculer la puissance thermoélectrique en utilisant l'équation (4).

4.2.2 Méthode de la dérivée

4.2.2.1 Généralités

La méthode de la dérivée consiste à mesurer deux points de matériau à mesurer. La différence de potentiel peut également être mesurée simultanément lorsque le courant qui traverse l'échantillon est nul. A cet instant, le champ électrique dans l'échantillon de mesure est donné par $E = \alpha\Delta T$. Ce champ est dû à la puissance thermoélectrique. La Figure 2 est une représentation schématique de la méthode de la dérivée pour mesurer la puissance thermoélectrique.



IEC

Légende T_1, T_2 : température à mesurer T_a : température ambiante T_0 : température de la jonction froide V_x, V_{t1}, V_{t2} : voltmètre pouvant mesurer la chute de tension

Figure 2 – Représentation schématique de la méthode de la dérivée pour mesurer la puissance thermoélectrique

Lorsque les fils du thermocouple et l'échantillon sont joints de manière homogène, les erreurs de mesure peuvent être réduites à leurs valeurs minimales et les équations (5), (6) et (7) peuvent être utilisées pour calculer la puissance thermoélectrique des matériaux. Dans ces conditions, la différence de potentiel est donnée par l'équation suivante.

$$\Delta V = - \left(\int_{T_a}^{T_0} \alpha_{Cu} dT + \int_{T_0}^{T_1} \alpha_{ref}^1 dT + \int_{T_1}^{T_2} \alpha_x dT + \int_{T_2}^{T_0} \alpha_{ref}^2 dT + \int_{T_0}^{T_a} \alpha_{Cu} dT \right) \quad (5)$$

Pour un fil de référence homogène, le deuxième et le quatrième termes de l'intégrale peuvent être fusionnés et l'équation (5) devient une équation simplifiée (6).

$$\Delta V = - \int_{T_1}^{T_2} (\alpha_x - \alpha_{ref}) dT \quad (6)$$

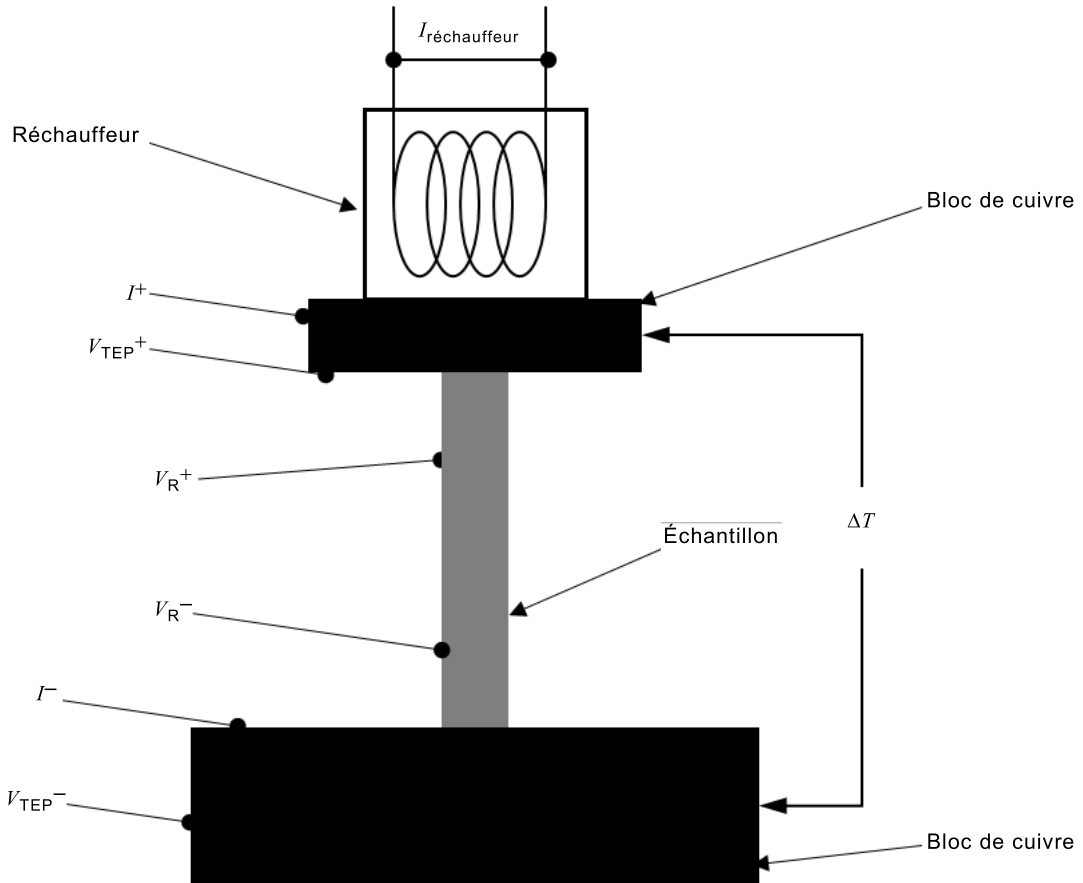
Si la différence de température est uniquement donnée par la différence entre le point 1 et le point 2, la forme finale simplifiée est indiquée dans l'équation (7).

$$\alpha_x(T_{av}) = -\frac{\Delta V}{\Delta T} + \alpha_{ref}(T_{av}) \tag{7}$$

quand T_{av} est donnée par la moitié de la somme de T_1 et T_2 .

4.2.2.2 Procédure d'essai

La Figure 3 représente un schéma de montage pour la mesure de la résistivité et du coefficient de Seebeck de matériaux volumiques en utilisant la méthode de la dérivée.



IEC

Légende

- | | |
|--|--|
| T : différence de température | $I_{réchauffeur}$: courant du réchauffeur |
| I^+ : courant positif | I^- : courant négatif |
| V_{R+} : tension résistive positive | V_{R-} : tension résistive négative |
| V_{TEP+} : tension thermoélectrique positive | V_{TEP-} : tension thermoélectrique négative |

Figure 3 – Schéma de montage pour la mesure de la résistivité électrique et du coefficient de Seebeck utilisant la méthode de la dérivée

Le coefficient de Seebeck est relativement plus grand dans les matériaux thermoélectriques que dans les matériaux non thermoélectriques. Ainsi, la tension totale aux bornes de l'échantillon doit être la somme de la tension de Seebeck et de la tension résistive ou IR . La tension totale est donnée par l'équation (8).

$$V_{total} = V_{IR} + \alpha \Delta T \tag{8}$$

Généralement, la tension résistive peut être négligée par rapport à la tension de Seebeck dans le calcul de la tension totale. Ainsi, pour rendre minimale la contribution de l'effet de Seebeck pour mesurer la tension IR, il convient que la mesure soit effectuée très rapidement, par exemple en 2 ou 3 secondes. En changeant le sens du courant, la tension de Seebeck peut être annulée en utilisant une technique de calcul de moyenne donnée par l'équation (9).

$$V_{IR} = \frac{[V(I^+) + \alpha \Delta T] - [V(I^-) + \alpha \Delta T]}{2} \quad (9)$$

où I^+ et I^- sont respectivement le sens positif et le sens négatif du courant.

C'est pourquoi un courant alternatif ou un courant continu commutant rapidement doit être utilisé pour mesurer la résistivité électrique de matériaux thermoélectriques. On utilise typiquement des échantillons de (2×2) mm² ou (3×3) mm² pour effectuer les mesures. La procédure de mesure doit suivre ces étapes:

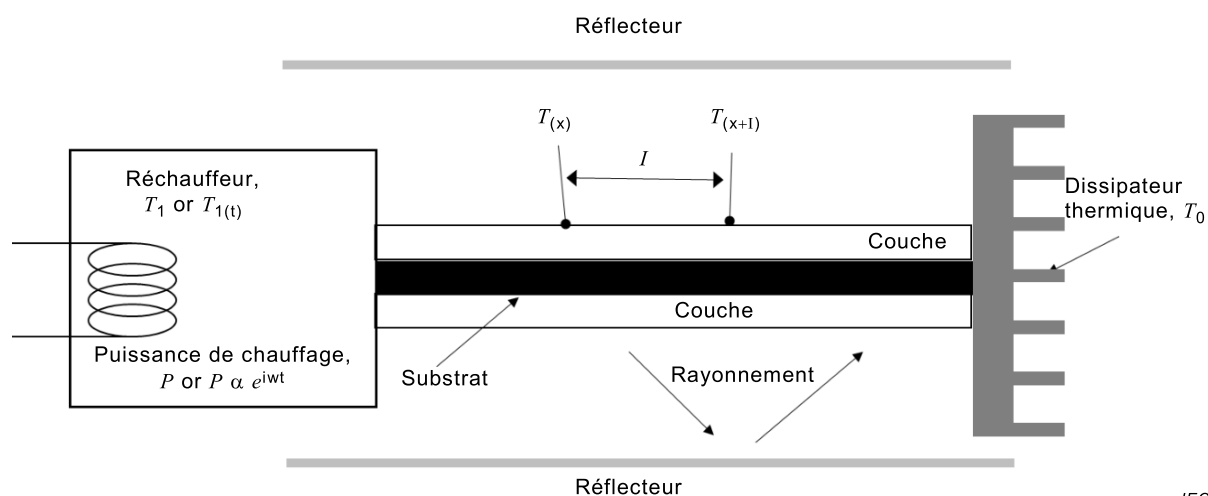
- a) Refroidir le bloc de cuivre à utiliser comme dissipateur thermique
- b) Placer l'extrémité de l'échantillon sur le dissipateur thermique
- c) Attacher l'autre côté de l'échantillon au réchauffeur
- d) Appliquer la sonde à quatre points qui peut réguler la distance entre les sondes de mesure de la tension sur l'échantillon
- e) Appliquer un courant alternatif ou un courant continu commutant rapidement à l'échantillon
- f) Chauffer l'échantillon
- g) Lire la tension
- h) Changer le sens du courant et attendre 2 ou 3 secondes
- i) Répéter les étapes (e) à (g)

4.3 Mesure de la conductivité thermique

4.3.1 Généralités

La mesure de la conductivité thermique est très compliquée pour les couches minces. Généralement, les couches minces sont fabriquées en utilisant différents processus de dépôt physique en phase vapeur. Les caractéristiques de la conductivité thermique dans le plan et de la conductivité thermique perpendiculaire sont donc très différentes. Par conséquent, pour mesurer la conductivité thermique de la couche mince, on tient compte de l'effet de l'anisotropie et de la possibilité de détermination de la conductivité thermique dans le plan et perpendiculaire. La Figure 4 représente le principe de la conductivité thermique dans le plan d'une couche mince sur un substrat. Il est difficile de supprimer l'influence de l'effet du substrat lorsque la conductivité thermique perpendiculaire a été mesurée. Ainsi, pour obtenir une conductivité thermique plus précise, le produit de la conductivité thermique et de l'épaisseur de la couche est supérieur à celui du substrat. La conductivité thermique peut être calculée en utilisant la puissance de chauffage, conformément à l'équation (10).

$$k = \frac{P}{db[T(x) - T(x + l)]/l} \quad (10)$$



Anglais	Français
Reflector	Réflecteur
Heater, T_1 or $T_1(t)$	Réchauffeur, T_1 ou $T_1(t)$
Heating power, P or $P \propto e^{i\omega t}$	Puissance de chauffage, P ou $P \propto e^{i\omega t}$
Film	Couche
Substrate	Substrat
Radiation	Rayonnement
Heat sink, T_0	Dissipateur thermique, T_0

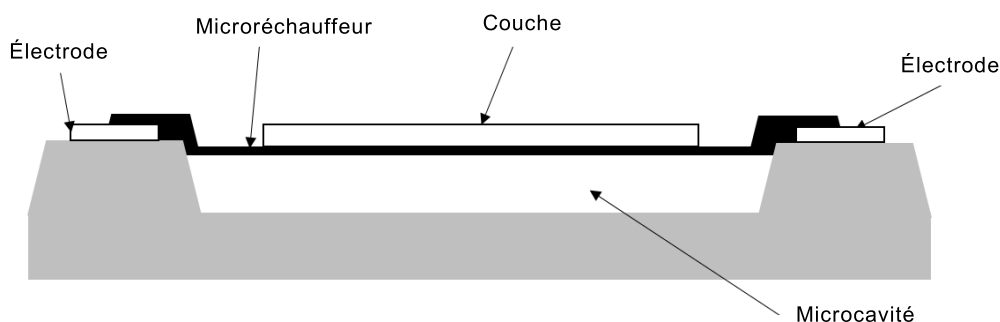
Figure 4 – Représentation schématique de la mesure de la conductivité thermique dans le plan d'une couche mince sur un substrat

4.3.2 Méthode 3ω transitoire

Le concept de la méthode 3ω transitoire est très similaire à la méthode de la sonde à quatre points. Les configurations des points dont les sondes de contact pour tensions et courants négatifs et positifs sont connectées par une fine bande métallique ont une largeur b qui peut être utilisée pour les réchauffeurs et les thermomètres. Lorsqu'un courant sinusoïdal de fréquence angulaire ω traverse l'échantillon, la fine bande métallique se comporte comme un thermomètre. A 3ω , l'oscillation de la tension peut être obtenue par l'oscillation de la résistance à 2ω et à un courant d'excitation à ω . Finalement, la conductivité thermique peut être calculée par l'équation (11). V_{h3} représente la tension du troisième harmonique pour les fréquences ω_1 et ω_2 .

$$k = \frac{V^3 \ln(\omega_1 / \omega_2)}{4\pi\pi l^2 [V_{h3}(\omega_2) - V_{h3}(\omega_1)]} \frac{dR}{dT} \tag{11}$$

La Figure 5 représente un modèle typique de mesure de la conductivité thermique d'une couche mince utilisant la méthode 3ω transitoire. Cette structure MEMS peut être fabriquée en utilisant un processus CMOS conventionnel. La conductivité thermique des matériaux en couches minces est sensible aux différentes conditions de mesure. Les utilisateurs doivent donc décrire les conditions ambiantes de mesure.



IEC

Figure 5 – Structure MEMS pour la mesure de la conductivité thermique de matériaux en couches minces utilisant la méthode 3ω transitoire

4.3.3 Rapport d'essai

Les informations suivantes doivent figurer dans le rapport d'essai.

- a) La référence à l'IEC 62830
- b) La forme et les dimensions du dispositif soumis aux essais
- c) Les conditions d'essai
 - La température de la jonction froide
 - La température mesurée du dispositif
 - La tension d'entrée
 - La température ambiante
- d) Les résultats d'essai
 - Le coefficient de Seebeck du dispositif
 - Le facteur de mérite du dispositif

Annexe A (informative)

Générateur d'énergie thermoélectrique

La présente norme couvre des méthodes de caractérisation d'un système de récupération d'énergie constitué de dispositifs à semiconducteurs de récupération d'énergie et de circuits de conversion, utilisé dans des applications telles que les réseaux de capteurs sans fil (WSN, *Wireless Sensor Networks*). Le module de récupération d'énergie peut être constitué de différents dispositifs de récupération d'énergie utilisant plusieurs dispositifs basés sur l'effet thermoélectrique ou sur l'effet piézoélectrique.

Bibliographie

Thermoelectrics handbook – Macro to Nano, ed. D. M. Rowe, CRC press, Boca Raton, 2006.

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch