

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC STANDARD

Publication 656
Première édition — First edition
1979

**Méthodes d'essais pour semicteurs au germanium de haute pureté
pour rayonnements X et gamma**

**Test procedures for high-purity germanium detectors
for X and gamma radiation**



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale
1, rue de Varembé
Genève, Suisse

Révision de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la Commission afin d'assurer qu'il reflète bien l'état actuel de la technique.

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous :

- **Bulletin de la CEI**
- **Rapport d'activité de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit repris du V.E.I., soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, symboles littéraux et signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera :

- la Publication 27 de la CEI: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique ;
- la Publication 117 de la CEI: Symboles graphiques recommandés.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit repris des Publications 27 ou 117 de la CEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Autres publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur les pages 3 et 4 de la couverture, qui énumèrent les autres publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

Revision of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information on the work of revision, the issue of revised editions and amendment sheets may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **Report on IEC Activities**
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the I.E.V. will be supplied on request.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the I.E.V. or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to:

- IEC Publication 27: Letter symbols to be used in electrical technology ;
- IEC Publication 117: Recommended graphical symbols.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC Publications 27 or 117, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to pages 3 and 4 of the cover, which list other IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC STANDARD

Publication 656
Première édition — First edition
1979

**Méthodes d'essais pour semicteurs au germanium de haute pureté
pour rayonnements X et gamma**

**Test procedures for high-purity germanium detectors
for X and gamma radiation**

Descripteurs: mesures électriques de grandeurs de la technique nucléaire, semicteurs de rayonnement au germanium de haute pureté, essais.

Descriptors: electrical measurements of nuclear technology quantities, high-purity germanium radiation detectors, testing.



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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'éditeur.

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 the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Objet	6
3. Introduction	6
3.1 Description générale	6
3.2 Symboles	8
4. Possibilité de subir des cycles de température	8
4.1 Discussion	8
4.2 Classification selon la possibilité de subir des cycles de température	10
5. Tension de déplétion	12
5.1 Discussion	12
5.2 Mesure basée sur la capacité du semicteur	12
5.3 Mesure basée sur la variation du rendement avec la tension de polarisation	16
5.4 Mesure utilisant un rayonnement peu pénétrant	16
6. Examen du volume utile par balayage	18
6.1 Discussion	18
6.2 Sources de rayonnement	18
6.3 Balayages transversaux	20
6.4 Balayages latéraux	20
7. Méthodes d'essais supplémentaires pour semicteurs à rayons X et à rayons gamma de faible énergie	22
7.1 Généralités	22
7.2 Résolution en énergie du semicteur	22
7.3 Résolution et position du pic en fonction du taux de comptage	22
7.4 Epaisseur de la fenêtre d'entrée du semicteur	22
8. Méthodes d'essais supplémentaires pour semicteurs gamma de haute énergie	26

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Scope	7
2. Object	7
3. Introduction	7
3.1 General description	7
3.2 Symbols	9
4. Temperature cyclability	9
4.1 Discussion	9
4.2 Classes of temperature cyclability	11
5. Depletion voltage	13
5.1 Discussion	13
5.2 Measurement based on detector capacitance	13
5.3 Measurement based on variation of efficiency with bias voltage	17
5.4 Measurement using weakly penetrating radiation	17
6. Scanning to inspect active volume	19
6.1 Discussion	19
6.2 Radiation sources	19
6.3 Transverse scans	21
6.4 Side scans	21
7. Additional test procedures for X-ray and low-energy gamma detectors	23
7.1 General	23
7.2 Detector energy resolution	23
7.3 Resolution and peak position versus count-rate performance	23
7.4 Thickness of the detector entrance window	23
8. Additional test procedures for high-energy gamma detectors	27

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODES D'ESSAIS POUR SEMICTEURS AU GERMANIUM
DE HAUTE PURETÉ POUR RAYONNEMENTS X ET GAMMA**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Comité d'Etudes N° 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Elle complète la Publication 430 de la CEI: Méthodes d'essais des semicteurs gamma au germanium.

Lors de la réunion tenue à San Diego en 1975, le Comité d'Etudes N° 45 a décidé d'établir un document destiné à élargir le domaine d'application de la Publication 430 aux semicteurs au germanium de haute pureté. Un premier projet fut discuté lors de la réunion tenue à Baden-Baden en 1977, à la suite de laquelle le document 45(Bureau Central)108 fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en juin 1977. Des modifications, document 45(Bureau Central)119, furent soumises à l'approbation des Comités nationaux suivant la Procédure des Deux Mois en juin 1978.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République d')	Japon
Belgique	Pays-Bas
Canada	Pologne
Egypte	Royaume-Uni
Espagne	Suède
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
Finlande	Tchécoslovaquie
France	Turquie
Italie	Union des Républiques Socialistes Soviétiques

Autres publications de la CEI citées dans la présente norme

Publications n° 333. Méthodes d'essais des détecteurs semiconducteurs pour rayonnements ionisants
430: Méthodes d'essais des semicteurs gamma au germanium.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**TEST PROCEDURES FOR HIGH-PURITY GERMANIUM DETECTORS
FOR X AND GAMMA RADIATION**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 45, Nuclear Instrumentation.

It is complementary to IEC Publication 430, Test Procedures for Germanium Gamma-ray Detectors.

At the meeting held in San Diego in 1975, Technical Committee No. 45 decided to produce a document that would serve to extend the applicability of Publication 430 to include high-purity germanium detectors. A first draft was discussed at the meeting held in Baden-Baden in 1977, as a result of which Document 45(Central Office)108 was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in June 1977. Amendments, Document 45(Central Office)119, were submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in June 1978.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Belgium	Poland
Canada	South Africa (Republic of)
Czechoslovakia	Spain
Egypt	Sweden
Finland	Switzerland
France	Turkey
Italy	Union of Soviet Socialist Republics
Japan	United Kingdom
Netherlands	United States of America

Other IEC publications quoted in this standard

Publications Nos. 333: Test Procedures for Semiconductor Detectors for Ionizing Radiation.

430: Test Procedures for Germanium Gamma-ray Detectors

MÉTHODES D'ESSAIS POUR SEMICTEURS AU GERMANIUM DE HAUTE PURETÉ POUR RAYONNEMENTS X ET GAMMA

1. Domaine d'application

La présente norme s'applique aux semicteurs au germanium de haute pureté pour rayonnements X et gamma décrits au paragraphe 3.1.

2. Objet

Etablir des méthodes d'essais complétant celles de la Publication 430 de la CEI: Méthodes d'essai des semicteurs gamma au germanium, et plus particulièrement applicables aux semicteurs au germanium de haute pureté.

Il n'est pas obligatoire d'effectuer tous les essais décrits. Si toutefois de tels essais sont effectués sur des dispositifs complets, ils doivent être exécutés conformément aux méthodes décrites ci-après.

3. Introduction

3.1 Description générale

La Publication 430 de la CEI, parue en 1973, avait pour but d'établir des méthodes d'essais unifiées pour les semicteurs gamma au germanium. Les semicteurs existants à cette époque étaient fabriqués par le procédé de compensation au lithium et étaient principalement utilisés pour l'analyse des rayonnements gamma. On trouve maintenant des semicteurs fabriqués avec du germanium de haute pureté. De plus, on s'intéresse beaucoup à l'emploi de petits semicteurs au germanium pour la spectroscopie gamma et X à des énergies de photons allant jusqu'à quelques centaines de kiloélectron-volts.

La principale caractéristique de fonctionnement nouvelle offerte par les semicteurs au germanium de haute pureté est la possibilité de subir des cycles de température. Ces semicteurs peuvent être mis à la température de la pièce de façon occasionnelle ou répétée puisque leur fonctionnement ne dépend pas de la compensation au lithium et qu'ils ne présentent donc pas de dégradations dues à la précipitation du lithium.

Un autre caractère distinctif des semicteurs au germanium de haute pureté est qu'ils sont généralement fabriqués à partir de matières contenant une concentration résiduelle en impuretés non nulle de sorte que la zone de déplétion part de l'un des contacts et s'étend jusqu'à l'autre seulement après application d'une tension suffisante V_D (tension de déplétion). La tension de fonctionnement doit dépasser V_D pour obtenir le rendement spectrométrique total du semicteur. Les possibilités des semicteurs au germanium de haute pureté sont très voisines de celles des semicteurs compensés au lithium, mais la distribution du champ électrique est différente dans les deux types de détecteurs et les semicteurs compensés au lithium n'ont généralement pas une tension de déplétion bien définie.

Les caractéristiques fonctionnelles d'un semicteur peuvent être réduites par plusieurs facteurs comprenant les effets d'écran des charges de surface induites par les champs électriques extérieurs et par les impuretés adsorbées, la non-uniformité de la distribution des impuretés résiduelles, et les défauts de structure dans le germanium. L'utilisation d'un faisceau collimaté de rayonnement

TEST PROCEDURES FOR HIGH-PURITY GERMANIUM DETECTORS FOR X AND GAMMA RADIATION

1. Scope

This standard applies to high-purity germanium detectors for X and gamma radiation described in Sub-clause 3.1.

2. Object

To establish test procedures, in addition to those in IEC Publication 430, Test Procedures for Germanium Gamma-ray Detectors, specially applicable to high-purity germanium detectors.

It is not mandatory that all tests described herein be performed. However, such tests as are carried out on completed devices shall be performed in accordance with the procedures given herein.

3. Introduction

3.1 General description

IEC Publication 430 was issued in 1973 for the purpose of establishing uniform testing procedures for germanium gamma-ray detectors. The detectors which existed at that time were made by the lithium drift process and were used primarily for the analysis of gamma radiation. Detectors made from high-purity germanium have since become available. In addition, a strong interest has developed in the use of small germanium detectors for gamma- and X-ray spectroscopy at photon energies up to a few hundred kiloelectron-volts.

The principal new performance feature offered by high-purity germanium detectors is that of temperature cyclability. These detectors may be brought to room temperature on an occasional or repeated basis since their performance does not depend on lithium compensation and therefore there is no degradation caused by lithium precipitation.

Another distinctive feature of high-purity germanium detectors is that they are generally made from material which contains a non-zero residual impurity concentration so that depletion starts at one contact and extends to the other only after a sufficient voltage V_D (the depletion voltage) has been applied. The operating voltage must exceed V_D for the full spectrometer efficiency of the detector to be realized. The performance of high-purity germanium detectors is closely similar to that of lithium drifted detectors but the distribution of the electric field is different in the two types of detectors and the lithium drifted detectors do not generally display a clearly defined depletion voltage.

The performance of a detector may be adversely affected by several factors which include the screening effects of surface charges induced by external electric fields and adsorbed impurities, non-uniformity of the residual impurity distribution, and structural defects in the germanium. The use of a collimated beam of radiation to scan detectors is a useful tool for diagnosing

pour le balayage des semicteurs est un procédé utile pour mettre en évidence les diverses anomalies du semicteur. Une brève description de cette méthode d'essais figure dans la présente norme à titre de progrès vers une compréhension plus complète et vers une interprétation uniforme de ces anomalies.

3.2 Symboles

C_d	= capacité du détecteur
C_F	= condensateur de couplage dans la boîte filtrante
e	= charge de l'électron
E	= énergie gamma
ϵ	= énergie moyenne pour former une paire électron-trou
N_{imp}	= concentration résiduelle nette en impuretés
Q_γ	= charge produite par l'absorption gamma
Q_p	= charge produite par l'impulsion d'essai
R_F	= résistance du filtre de la boîte filtrante
V_D	= tension de déplétion
V_p	= amplitude de l'impulsion d'essai
w	= épaisseur de la zone en germanium de haute pureté

4. Possibilité de subir des cycles de température

4.1 Discussion

A l'inverse des semicteurs au germanium compensés au lithium, Ge(Li), les semicteurs au germanium de haute pureté peuvent subir des cycles de température entre la température ambiante de 288 K – 303 K (15°C – 30°C) et leur température de fonctionnement sans que les propriétés intrinsèques du germanium en soient affectées (sauf si le semicteur a été endommagé par les rayonnements). Les changements qui peuvent survenir peuvent être attribués aux effets de surface. Les causes de ces effets de surface comprennent l'adsorption de molécules ou d'ions gazeux, le déplacement des charges à la surface du semi-conducteur ou au voisinage des surfaces isolantes, et les réactions chimiques en surface comme la croissance d'une couche d'oxyde. Pour réduire ces effets, le semicteur peut être passivé ou rendu étanche. L'importance suivant laquelle ces variations peuvent affecter le fonctionnement du semicteur dépend non seulement de la façon selon laquelle le semicteur et le système associé ont été préparés et assemblés mais aussi des précautions avec lesquelles le semicteur a été traité par l'utilisateur. En raison de la sensibilité des surfaces semi-conductrices à de petites traces de contamination, l'utilisateur est mis en garde contre les fausses manœuvres qui pourraient entraîner de telles variations et est invité à suivre soigneusement le mode d'emploi recommandé par le constructeur. Par exemple, un système détecteur contenant une matière adsorbante comme la zéolite ne doit pas être soumis à des échauffements accélérés car ceux-ci sont susceptibles de provoquer le transfert de vapeurs condensables du matériau adsorbant vers le semicteur, qui est généralement la dernière partie du système à atteindre la température ambiante.

Lors des essais de cycles de température, chaque cycle doit être de durée telle que le semicteur reste à la température ambiante de 288 K – 303 K (15°C – 30°C) pendant au moins 12 h après que l'azote liquide a été évacué du cryostat et est ensuite refroidi à la température de fonctionnement pendant un temps (normalement 2 h à 6 h) suffisant pour permettre une stabilisation des caractéristiques spectrométriques. Pour assurer la stabilisation, l'électronique doit être sous tension pendant au moins une heure avant la mesure des caractéristiques spectrométriques. La tension de polarisation devra également être appliquée au moins une heure avant la mesure. La tension de polarisation doit être appliquée graduellement et seulement quand le semicteur est