

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 Varembe
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.

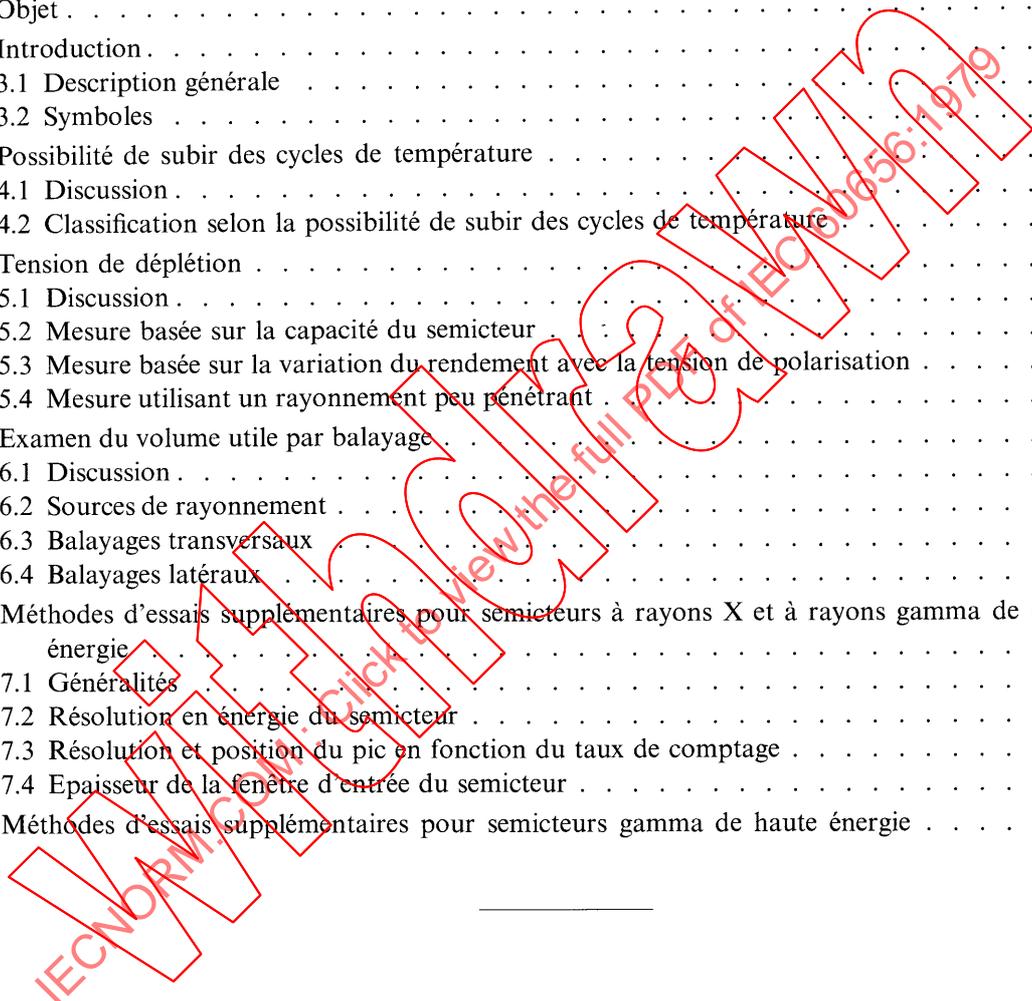
No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

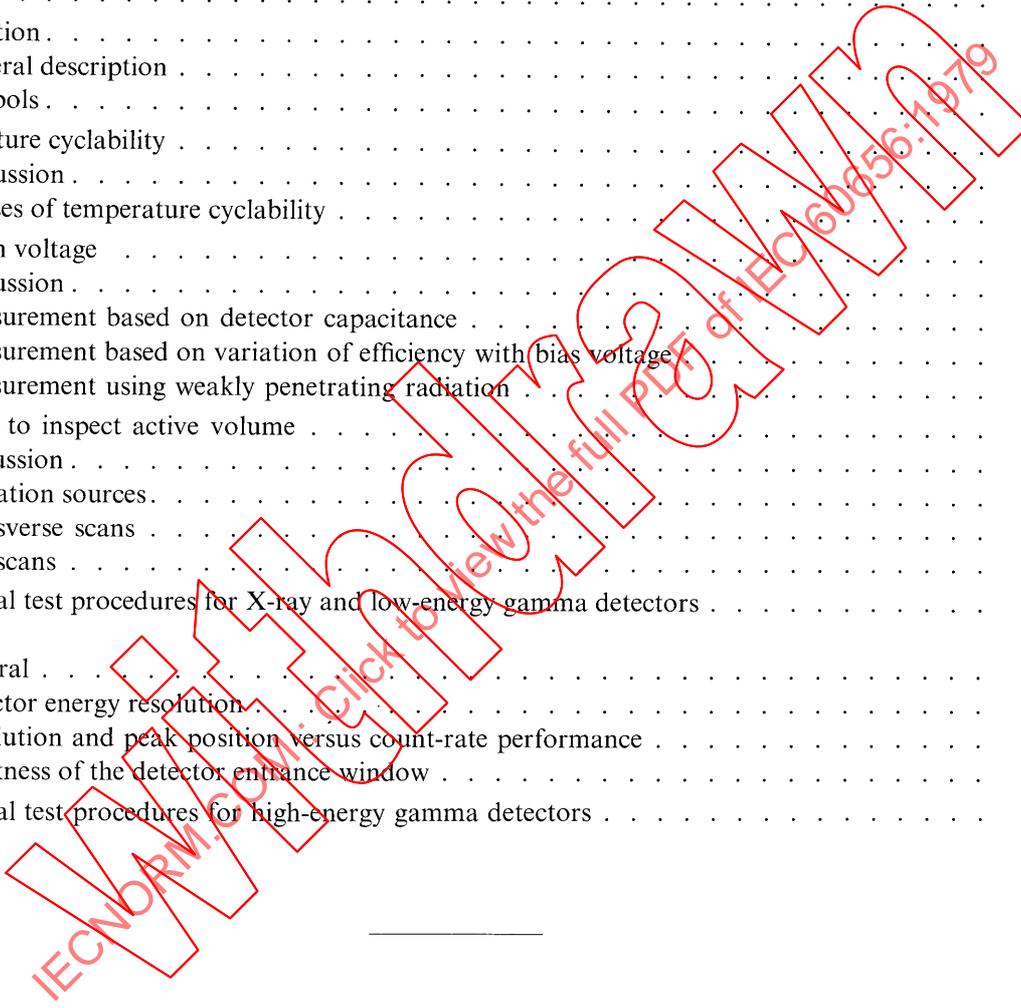
SOMMAIRE

	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'Études 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'Études 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'Études 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 CIE: 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 CIE, 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 kiloelectron-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

various detector abnormalities. A brief description of this test method is included in this standard as a step towards achieving greater understanding and uniformity of the interpretation of these deficiencies.

3.2 Symbols

C_d	= detector capacitance
C_F	= coupling capacitor in filter box
e	= electron charge
E	= gamma-ray energy
ε	= average energy required to form one hole-electron pair
N_{imp}	= net residual impurity concentration
Q_γ	= charge produced by gamma-ray absorption
Q_p	= charge produced by test pulse
R_F	= filter resistor in filter box
V_D	= depletion or punch-through voltage
V_p	= amplitude of test pulse
w	= thickness of high-purity germanium region

4. Temperature cyclability

4.1. Discussion

Unlike lithium drifted germanium Ge(Li) detectors, high-purity germanium detectors may be cycled between the ambient temperature of 288 K – 303 K (15°C – 30°C) and their operating temperature without affecting the bulk properties of the germanium (unless the detector has been radiation damaged). Any changes that may take place can be attributed to surface effects. The causes of these surface effects include adsorption of gas molecules or ions, motion of charges over the surface of the semiconductor or nearby insulator surfaces, and chemical reactions at the surface such as the growth of an oxide layer. To diminish these effects the detectors may be passivated or sealed (hermetic). The extent to which such changes may affect the operation of the detector depends not only upon the way in which the detector and its associated system have been prepared and assembled, but also upon the manner in which the detector has been treated by the user. Because of the sensitivity of semiconductor surfaces to very small traces of contamination, the user is cautioned to avoid procedures which might induce such changes and to follow carefully the operating procedures recommended by the manufacturer. For example, a detector system containing adsorption material such as zeolite should not be subjected to accelerated warm-up since this is likely to cause condensable vapours to be transferred from the adsorption material to the detector, which is usually the last portion of the system to reach ambient temperature.

In conducting the test of cyclability, each temperature cycle shall be of such duration that the detector remains at the ambient temperature of 288 K – 303 K (15°C – 30°C) for at least 12 h after the liquid nitrogen has been removed from the cryostat, followed by cooling to the operating temperature for a period of time (typically 2 h to 6 h) sufficient to permit its spectrometer characteristics to stabilize. To ensure stabilization, power shall be applied to the electronics for at least one hour prior to measurement of the spectrometer characteristics. The bias voltage shall also be applied for at least one hour prior to measurement. The bias voltage should be applied gradually and only when the detector is cold, otherwise damage to the

froid. Sinon, il peut en résulter des dommages au semicteur ou au transistor à effet de champ. Le système sous vide ne doit pas être ouvert pour un repompage pendant cette série de cycles d'essais.

4.2 *Classification selon la possibilité de subir des cycles de température*

Plusieurs classes de semicteurs correspondant à l'usage actuel et prévisible sont définies ci-dessous selon la possibilité de subir des cycles de température. Le constructeur devra désigner la classe du semicteur. Il peut choisir les paramètres dont il souhaite se prévaloir (par exemple LMH (Largeur à Mi-Hauteur), LDH (Largeur au Dixième de Hauteur), rendement, rapport pic-Compton) et il doit spécifier que ces paramètres conserveront les valeurs qu'il a garanties après cyclage (plutôt que de dire qu'ils varieront de moins d'une certaine quantité) pendant toute la durée de la période de garantie.

4.2.1 *Semicteurs cyclables*

Le semicteur reste sous vide en tant que partie intégrante du système cryostatique. Il peut subir des cycles répétés entre la température de la pièce et la température de l'azote liquide selon les spécifications du constructeur, et il peut être transporté à la température de la pièce au gré de l'utilisateur. Cette classe de semicteurs est particulièrement utile pour les systèmes qui doivent subir de fréquents réchauffages, comme les systèmes portatifs, et pour les systèmes dans lesquels un apport continu d'azote liquide n'est pas assuré ou n'est pas commode.

Pour être appelé «cyclable» par le constructeur, chaque semicteur doit avoir été essayé, c'est-à-dire qu'il doit avoir été soumis à un nombre déterminé de cycles de température et que les caractéristiques spécifiées continuent de correspondre aux valeurs garanties, pendant et après la série de cycles. Le constructeur doit spécifier si les caractéristiques garanties ont été mesurées après chaque cycle ou seulement après le nombre déterminé de cycles. Sauf spécifications contraires du constructeur, l'appellation «cyclable» implique également la possibilité de stockage à la température de la pièce sans limitation de temps.

4.2.2 *Semicteurs étanches*

Le semicteur est livré sous forme d'un élément séparé scellé dans son propre boîtier (capsule) de façon à pouvoir être monté dans le cryostat de l'utilisateur. Il peut être maintenu à la température de la pièce indéfiniment (ou selon spécification) et peut subir des cycles répétés en conservant des caractéristiques fonctionnelles conformes aux indications du constructeur.

4.2.3 *Semicteurs passivés*

La surface d'un semicteur passivé à l'air ambiant a été protégée de façon suffisante pour permettre son stockage dans l'air de la pièce à la température ordinaire sans dégradation notable. L'utilisateur peut placer le semicteur dans son cryostat, faire le vide et refroidir le semicteur pour son utilisation. Le semicteur peut ensuite être réchauffé et remis au contact de l'air de la pièce de stockage, et le cycle peut être répété selon les indications du constructeur.

4.2.4 *Semicteurs régénérables*

Les semicteurs régénérables sont des semicteurs cyclables (paragraphe 4.2.1) qui peuvent être soumis à une température spécifiée pendant un temps donné de façon à réduire les effets des dégâts par rayonnement. Le cryostat, le semicteur et le montage doivent pouvoir s'adapter à la procédure de recuit (par exemple 393 K (120°C) pendant 24 h). Il doit être spécifié qu'en l'absence de dégâts par rayonnement, le semicteur doit pouvoir subir la procédure de recuit sans détérioration de ses caractéristiques au-delà de limites spécifiées.

detector or field effect transistor may result. The vacuum system is not to be opened for repumping during this series of test cycles.

4.2 *Classes of temperature cyclability*

Several classes of temperature cyclability are defined below, corresponding to current and anticipated usage. The manufacturer shall designate the class of temperature cyclability of the detector. He may select those parameters for which he wishes to make claims (e.g. FWHM (Full Width at Half Maximum), FWTM (Full Width at Tenth Maximum), efficiency, peak-to-Compton) and shall specify that the values of these parameters shall still meet his warranted values after cycling (rather than that they change by less than a certain amount), throughout the duration of the warranty period.

4.2.1 *Cyclable detectors*

The detector remains under vacuum as an integral part of the cryostat system. It may be cycled repeatedly between room temperature and liquid nitrogen temperature according to the claims of the manufacturer, and may be shipped at room temperature to the user at the user's option. This class of detector is particularly useful for systems which are expected to undergo frequent warm-ups, such as portable systems, and those where a continuous supply of liquid nitrogen is not ensured or convenient.

To be designated "cyclable" by the manufacturer, each detector must be cycled, meaning that it has been subjected to a stated number of temperature cycles and that the designated parameters continued to meet the warranted values during and after the series of cycles. The manufacturer shall state whether the warranted parameters were measured after each cycle or only after the stated number of cycles. Unless stated otherwise by the manufacturer, the claim of cyclability implies also indefinite room temperature storage capability.

4.2.2 *Hermetic detectors*

A hermetic detector is supplied as a separate unit in its own sealed enclosure (capsule) so that it can be mounted in the user's cryostat. It can be held at room temperature indefinitely (or as specified), and may be cycled repeatedly with performance to be as designated by the manufacturer.

4.2.3 *Room air passivated detectors*

The surface of a room air passivated detector has been sufficiently protected that it can be stored in room air at ordinary temperature without significant degradation. The user can place the detector in his cryostat, pump down, and then cool the detector for operation. It may then be warmed and returned to room atmosphere storage, and the cycle repeated as designated by the manufacturer.

4.2.4 *Annealable detectors*

Annealable detectors are cyclable detectors (Sub-clause 4.2.1) which can be subjected to a specified temperature for a given time to reduce the effects of radiation damage. The cryostat, detector and mount must be capable of accommodating the annealing schedule (such as 393 K (120°C) for 24 h). It should be specified that in the absence of radiation damage, the detector will be able to tolerate this annealing schedule without degrading its performance beyond specified limits.

5. Tension de déplétion

5.1 Discussion

L'épaisseur de la zone désertée d'un semicteur au germanium de haute pureté augmente avec la tension appliquée jusqu'à une valeur V_D pour laquelle le semicteur devient complètement déserté. Le fonctionnement optimal est obtenu pour des tensions de fonctionnement notamment plus grandes que V_D mais inférieures aux valeurs pour lesquelles le courant de fuite devient excessif. Ce comportement est en contraste avec celui d'un semicteur soigneusement compensé au lithium pour lequel même une tension faible suffit à provoquer l'extension du champ interne d'une électrode à l'autre.

La connaissance de la tension de déplétion n'est pas essentielle pour déterminer les conditions optimales de fonctionnement du semicteur. Le contenu de cet article est donné à titre de renseignement. Il n'est pas obligatoire de fixer une valeur pour la tension de déplétion.

Dans un semicteur au germanium de haute pureté à faces planes parallèles ayant une concentration d'impuretés uniforme, l'épaisseur de la zone de déplétion augmente comme la racine carrée de la tension appliquée au-dessous de la tension de déplétion. La tension de déplétion V_D est donnée par :

$$V_D = 5,66 \times 10^{-8} w^2 N_{\text{imp}}$$

où w est l'épaisseur de la zone de germanium de haute pureté, en centimètres, et N_{imp} est la concentration nette d'impuretés électriquement actives en atomes par centimètre cube. Des considérations analogues s'appliquent pour des configurations coaxiales ou autres.

Dans le cas d'un semicteur idéal, la valeur de V_D serait constante et pourrait être déterminée de façon unique par différentes méthodes de mesure. Dans les semicteurs réels, des variations apparentes de V_D peuvent être observées si les propriétés de surface du semi-conducteur varient. De plus, des méthodes de mesure différentes peuvent conduire à des valeurs quelque peu différentes de V_D en raison de facteurs géométriques ou de distributions non uniformes des impuretés dans le semi-conducteur. C'est pourquoi toute fixation d'une valeur V_D doit être accompagnée de l'indication de la méthode utilisée pour sa détermination.

5.2 Mesure basée sur la capacité du semicteur

La méthode recommandée pour déterminer la tension de déplétion est la mesure de la variation de la capacité du semicteur avec la tension de polarisation. Si les deux contacts du semicteur sont accessibles ou si l'un d'eux est mis à la masse du cryostat, la méthode de mesure utilisant un pont de capacité est relativement directe (voir article 6 de la Publication 333 de la CEI: Méthodes d'essais des détecteurs semiconducteurs pour rayonnements ionisants). D'autre part, si le semicteur est relié à un préamplificateur interne et si son autre borne est accessible, sa capacité peut être mesurée au moyen du circuit d'essai indiqué dans la figure 1, page 14.

5. Depletion voltage

5.1 Discussion

The thickness of the depleted region of a high-purity germanium detector increases with applied voltage until V_D has reached the value at which the detector becomes fully depleted. Best performance is obtained at operating voltages significantly greater than V_D but below the range where the leakage current becomes excessive. This behaviour is in contrast with that of an accurately compensated lithium drifted detector, where even a small voltage is sufficient to cause the internal field to extend from one electrode to the other.

Knowledge of the depletion voltage is not essential for establishing the optimum conditions for detector operation. This clause is provided for its tutorial value and it is not mandatory to specify a value for the depletion voltage.

In a plane-parallel high-purity germanium detector with a uniform impurity concentration, the thickness of the depleted region increases with the square root of the applied voltage for values below the depletion voltage. The depletion voltage V_D is given by:

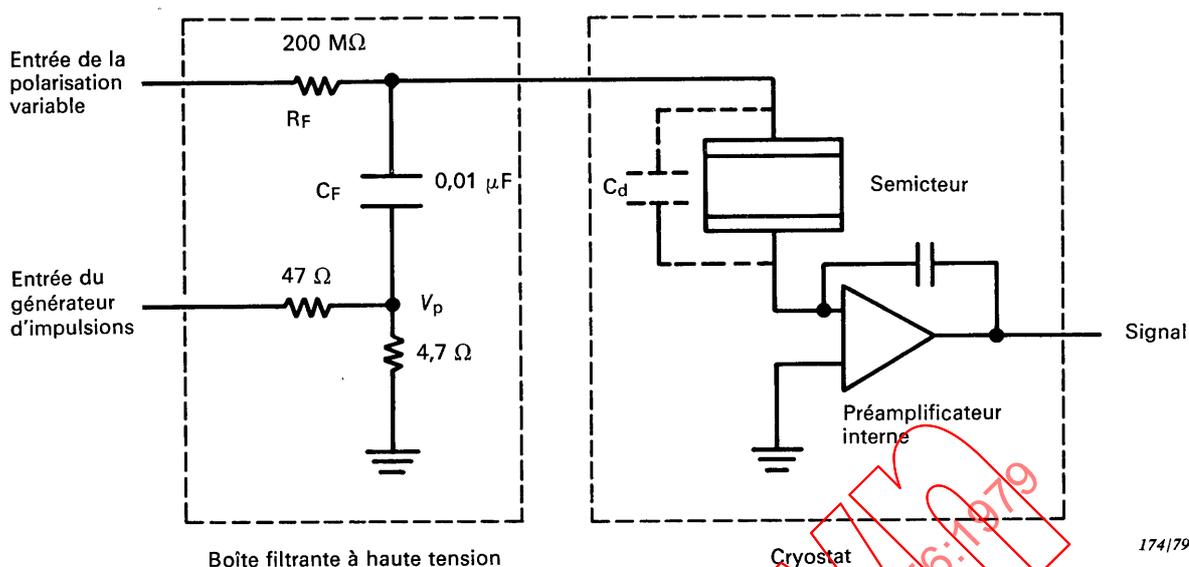
$$V_D = 5.66 \times 10^{-8} w^2 N_{\text{imp}}$$

where w is the thickness of the high-purity germanium region, in centimetres, and N_{imp} is the net concentration of electrically active impurities in atoms per cubic centimetre. Analogous considerations apply for coaxial and other geometries.

In the case of an ideal detector, the value of V_D would be constant and could be determined uniquely by any of several different methods of measurement. In actual detectors, apparent changes in V_D may be observed if the surface properties of the semiconductor change. Furthermore, different measurement methods may yield somewhat different values for V_D due to geometrical factors or to non-uniform impurity distributions within the semiconductor. Therefore, any statement of a value for V_D should be accompanied by a statement of the method used for its determination.

5.2 Measurement based on detector capacitance

The recommended method for determining the depletion voltage is to measure the variation of detector capacitance with bias voltage. If both detector contacts are accessible or if one of them is grounded to the cryostat, the measurement procedure using a capacitance bridge is relatively straightforward (see Clause 6 of IEC Publication 333, Test Procedures for Semiconductor Detectors for Ionizing Radiation). On the other hand, if the detector is connected to an internal pre-amplifier, and its other terminal is accessible, its capacitance can be measured by means of the test circuit shown in Figure 1, page 15.



Note. — C_F est un condensateur de haute tension à faible bruit, par exemple du type plastique de haute qualité.

FIG. 1. — Circuit d'essai pour mesurer la capacité du semicteur.

On envoie (par l'intermédiaire de la boîte filtrante à haute tension) une impulsion d'essai électronique dans le semicteur, ce qui provoque l'envoi dans l'entrée du préamplificateur d'une charge Q_p .

$$Q_p = \frac{V_p C_d}{1 + C_d/C_F}$$

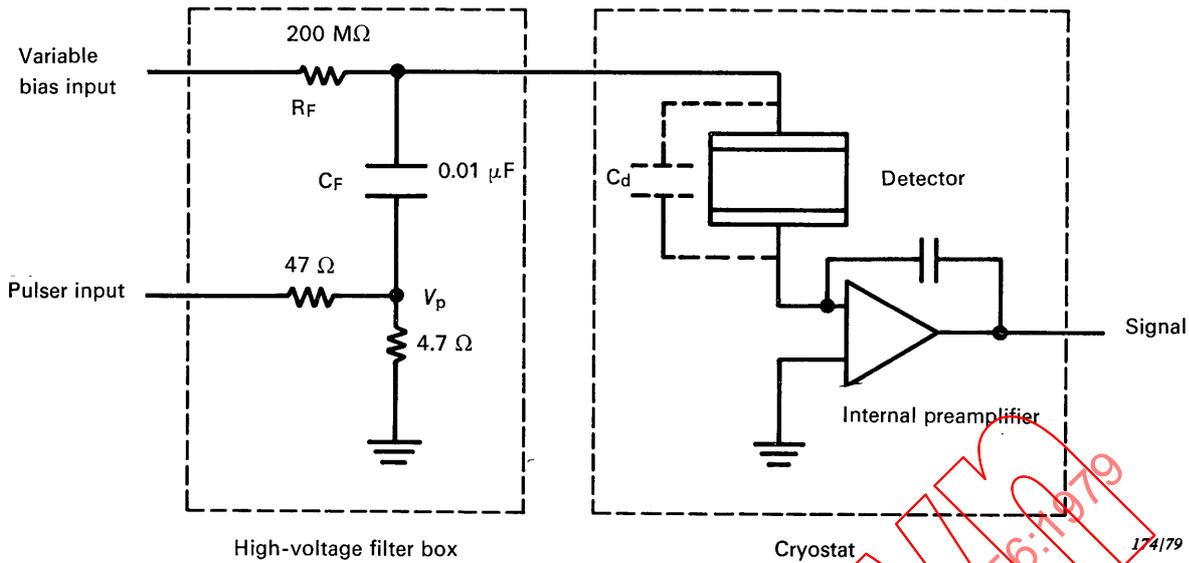
Ici V_p est l'amplitude de l'impulsion d'essai réellement appliquée au semicteur, c'est-à-dire 0,091 fois l'amplitude à l'entrée du générateur d'impulsions pour les composants du circuit utilisés dans la figure 1. Le condensateur C_F , dont le rôle dans la boîte filtrante à haute tension est d'aplanir les variations rapides de l'alimentation de polarisation, sert également de grand condensateur de couplage en série pour l'impulsion d'essai. En faisant $C_F \gg C_d$ le terme correctif C_d/C_F est rendu négligeable. La résistance du filtre à haute tension R_F a une grande valeur, de sorte qu'elle ne shunte pas le signal du générateur.

La capacité du semicteur peut être déterminée en observant la charge $Q_\gamma = eE/\epsilon$ créée par un rayon gamma d'énergie E totalement absorbée, où ϵ est l'énergie moyenne nécessaire pour créer une paire électron-trou dans le germanium (Ge), soit approximativement 2,97 eV à 77 K, et e est la charge de l'électron. Pour une polarisation suffisamment élevée du semicteur il faut remarquer qu'une partie négligeable de la charge est perdue par piégeage. En ajustant l'amplitude de l'impulsion de façon que $Q_p = Q_\gamma$ nous avons:

$$C_d = eE/\epsilon V_p$$

On fait varier la polarisation du semicteur et on mesure la valeur de V_p nécessaire pour maintenir constante la valeur Q_p . Ces données sont utilisées pour tracer une courbe de C_d en fonction de V_p . La tension de déplétion du semicteur est la tension au-dessus de laquelle la capacité du semicteur ne change pas.

L'utilisation de l'impulsion d'étalonnage Q_γ n'est pas essentielle pour déterminer V_D mais elle est recommandée en raison de l'information qu'elle apporte. De plus, pour un semicteur à configuration simple, elle peut permettre de vérifier que la déplétion totale de tout le semicteur s'est effectuée. Si la courbe capacité-tension présente une nette transition entre la zone où la



Note — C_F is a high-voltage low-noise capacitor, for example a high-quality plastic type

FIG. 1. — Test circuit for measuring detector capacitance.

An electronic test pulse is fed through the detector (via the high-voltage filter box) which causes a charge Q_p ,

$$Q_p = \frac{V_p C_d}{1 + C_d/C_F}$$

to flow into the preamplifier input. Here V_p is the amplitude of the test pulse actually applied to the detector, i.e. 0.091 times the amplitude at the pulser input for the circuit components used in Figure 1. The capacitor C_F , whose role in the high-voltage filter box is to smooth rapid bias supply changes, serves also as a large series coupling capacitor for the test pulse. By making $C_F \gg C_d$ the correction term C_d/C_F is made negligible. The high-voltage filter resistor R_F has a large value so that it does not shunt the pulser signal.

The detector capacitance can be determined by observing the charge $Q_\gamma = eE/\epsilon$ which is created by a totally absorbed gamma ray of energy E , where ϵ is the average energy required to create an electron-hole pair in the germanium (Ge) approximately 2.97 eV at 77 K, and e is the electron charge. This observation should be made at a sufficiently high detector bias that a negligible amount of charge is lost by trapping. With the pulse amplitude adjusted so that $Q_p = Q_\gamma$ we have,

$$C_d = eE/\epsilon V_p$$

The detector bias is varied and the value of V_p necessary to maintain a constant value of Q_p is measured. These data are used to construct a C_d versus voltage plot V_p . The depletion voltage of the detector is the voltage above which the capacitance of the detector does not change.

The use of the calibration pulse Q_γ is not essential for the determination of V_D but is recommended because of the information which it affords. Furthermore, for a detector with simple geometry, it can provide a check that total depletion throughout the whole detector has been achieved. If the transition from a voltage-dependent capacitance to the expected geometrical

capacité dépend de la tension et celle où elle atteint un palier, cela indique que la zone désertée a atteint l'électrode opposée sur toute sa surface. Une transition graduelle peut indiquer une distribution non uniforme des impuretés, un état de surface dépendant de la tension, ou une configuration complexe du semicteur.

5.3 *Mesure basée sur la variation du rendement avec la tension de polarisation*

Le volume utile d'un semicteur augmente avec la tension de polarisation jusqu'à ce que le semicteur ait une zone de déplétion totale. Une transition correspondant à V_D peut être observée en mesurant le taux de comptage pour l'énergie maximale en fonction de la polarisation, le semicteur étant soumis à un rayonnement gamma pénétrant. Cette méthode est sujette à des erreurs dues au piégeage de porteurs de charge, ce qui ne se produit pas dans la méthode basée sur la capacité décrite dans le paragraphe 5.2. Les résultats doivent être interprétés en tenant compte de ce fait.

Il est recommandé de choisir une source de rayonnement produisant un rayon gamma isolé et ayant une longueur d'absorption dans le germanium au moins égale à l'épaisseur du semicteur mesurée parallèlement à la direction du rayonnement incident. Des sources recommandées (voir tableau I) sont les rayons gamma de 1,33 MeV du ^{60}Co et de 2,61 MeV du ^{208}Tl (d'une source de ^{228}Th). Ces rayons gamma ont des longueurs d'absorption respective de 3,8 cm et 4,8 cm. Le taux de comptage doit être mesuré à la sortie d'un analyseur monocanal réglé pour accepter la totalité du pic maximal (ou totalisé dans un analyseur multicanal). Il doit être prouvé que l'intensité de la source est suffisamment faible pour éviter des erreurs d'empilement notables.

Cette méthode n'est valable que dans la mesure où le produit $\mu\zeta E$ est beaucoup plus grand que w

où:

μ = mobilité des porteurs

ζ = durée de vie des porteurs

E = champ électrique appliqué

w = épaisseur du détecteur

Dans le cas inverse, le taux de comptage continue à croître avec E , c'est-à-dire avec la tension appliquée, et aucun palier de comptage n'est obtenu.

5.4 *Mesure utilisant un rayonnement peu pénétrant*

Une mesure directe de la tension de déplétion est possible si la configuration du cryostat est telle que le rayonnement peut être dirigé sur l'électrode vers laquelle la limite de la déplétion se déplace lorsqu'on approche la déplétion totale. Le taux de comptage est mesuré en fonction de la tension de polarisation en utilisant une source qui produit un rayonnement ayant une longueur d'absorption petite par rapport à l'épaisseur du semicteur. La sensibilité maximale est obtenue quand le rayonnement est juste assez énergétique pour traverser le boîtier et la couche morte du semicteur. Si la zone de déplétion s'étend uniformément à la surface du semicteur, le taux de comptage commencera à croître rapidement juste avant d'atteindre la déplétion totale et restera constant pour des tensions plus élevées.

Cette méthode est souvent utilisée avec une source de rayonnement collimaté comme il est dit plus en détail dans l'article suivant.

value of capacitance is sharp, it indicates that the depleted region has reached the corresponding electrode surface simultaneously over its entire area. A gradual transition can be an indication of a non-uniform impurity distribution, voltage dependent surface condition, or complex detector geometry.

5.3 *Measurement based on variation of efficiency with bias voltage*

The sensitive volume of a detector increases with bias voltage until the detector becomes fully depleted. A transition corresponding to V_D may be observed by measuring the full energy count rate as a function of bias with the detector exposed to penetrating gamma radiation. This method is subject to errors arising from charge-carrier trapping which are not present in the capacitance method described in Sub-clause 5.2 and the results should be interpreted with this in mind.

A radiation source should be selected which produces an isolated gamma ray for which the $1/e$ absorption length in germanium is at least as great as the thickest dimension of the detector measured parallel to the direction of the incident radiation. Recommended sources (see Table I) are the 1.33 MeV ^{60}Co gamma ray and the 2.61 MeV ^{208}Tl gamma ray (from ^{228}Th source). These gamma rays have $1/e$ lengths of 3.8 cm and 4.8 cm, respectively. The counting rate should be measured at the output of a single-channel analyzer, set to accept the entire full-energy peak (or summed in a multichannel analyzer). It shall be demonstrated that the source intensity is low enough to avoid significant pile-up errors.

This method is valid only in so far as the product $\mu\zeta E$ is much greater than w

where:

μ = mobility of carriers

ζ = lifetime of carriers

E = electric field applied

w = thickest dimension of detector

In the opposite case, the count rate continues to increase with E , that is with the voltage applied, and no counting plateau is reached.

5.4 *Measurement using weakly penetrating radiation*

A direct measurement of the depletion voltage is possible if the cryostat configuration is such that radiation can be directed upon the electrode towards which the depletion boundary moves as full depletion is approached. The count rate is measured as a function of bias voltage, using a source which produces radiation having a $1/e$ absorption length that is small compared with the detector thickness. Maximum sensitivity is achieved when the radiation is just sufficiently energetic to penetrate the container and detector dead layer. If the detector depletes uniformly over its area, the count rate will begin to increase rapidly just before full depletion is reached and remain constant at higher voltages.

This method has often been used with a collimated radiation source as discussed more fully in the following clause.

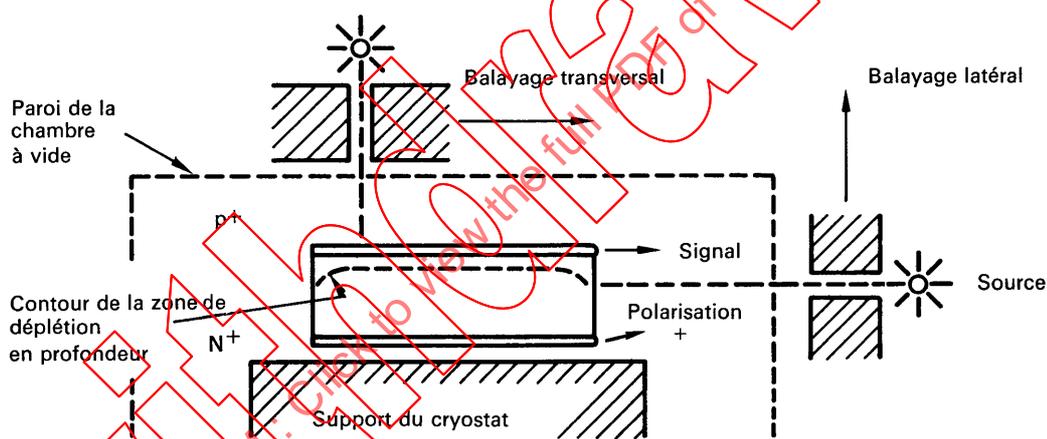
6. Examen du volume utile par balayage

6.1 Discussion

Le contenu de ce paragraphe est donné à titre de renseignement et n'implique pas nécessairement la recommandation de l'utilisation systématique de tels essais.

Puisque le champ interne du semicteur est déterminé par la distribution d'un très petit nombre de charges fixes (peu d'impuretés actives), des charges de surface et des variations relativement petites dans la distribution interne des impuretés peuvent affecter de façon notable les champs à l'intérieur et à la surface des semicteurs de haute pureté. Les lignes de champ le long desquelles la charge est collectée peuvent rencontrer la surface du semicteur et des passages en surface peuvent fonctionner comme collecteurs de charges. C'est pourquoi il peut être intéressant d'observer le volume utile d'un semicteur en fonction de la polarisation en utilisant un faisceau collimaté de rayonnement.

Pour illustrer cette méthode, supposons qu'on examine un semicteur à faces planes parallèles comme indiqué par la figure 2.



175/79

FIG. 2. — Essai de balayage d'un détecteur à faces planes parallèles.

Dans cet exemple, le semicteur est composé de germanium de type p de façon que la limite du volume utile se déplace vers le contact extérieur p^+ lorsque la tension de polarisation augmente. La situation de cette limite à l'intérieur du semicteur peut être déterminée en le parcourant avec un faisceau collimaté de rayons gamma ou X d'énergie telle qu'ils soient fortement absorbés par quelques millimètres de germanium. Des informations utiles peuvent être obtenues en déplaçant le faisceau à travers la fenêtre d'entrée p^+ du semicteur (balayage transversal) ou le long de sa surface latérale (balayage latéral).

6.2 Sources de rayonnement

Plusieurs sources de rayonnement qui conviennent pour ce balayage (ainsi que des sources pour mesures de tension de déplétion) sont indiquées dans le tableau I.

6. Scanning to inspect active volume

6.1 Discussion

This sub-clause is provided for its tutorial value and does not necessarily imply a recommendation for routine use of such tests.

Because the internal detector electric field is determined by the distribution of a very few fixed charges (few active impurities), surface charges and relatively small variations in the internal impurity distribution can significantly affect the internal and surface electric fields of high-purity detectors. The field lines along which the charge is collected may intersect the surface of the detector and surface channels may be operative as collection pathways. Therefore it can be instructive to inspect the active volume of a detector as a function of bias using a collimated beam of radiation.

To illustrate this method, assume that a plane-parallel detector is to be investigated, as shown in Figure 2.

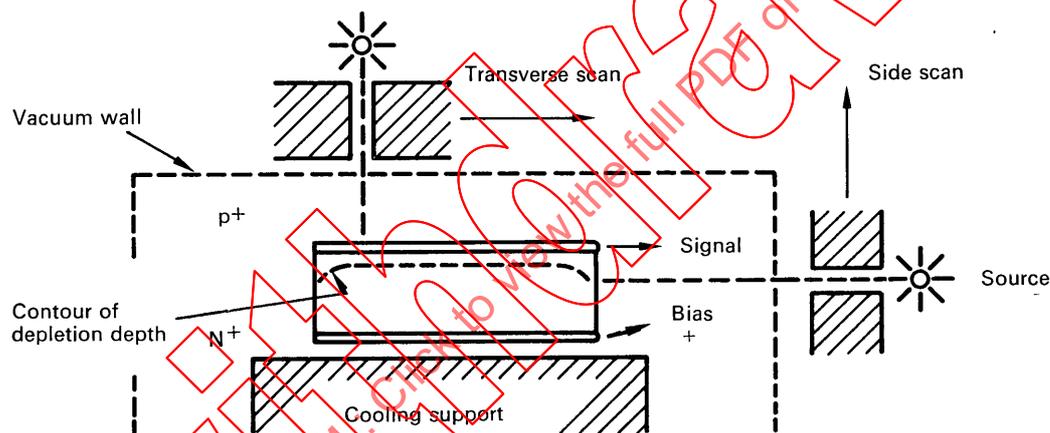


FIG. 2. — Scanning test of plane-parallel detector.

In this example the detector is made from p-type germanium so that as the bias voltage is increased the boundary of the sensitive volume moves closer to the p⁺ outer contact. The location of this boundary within the detector can be determined by scanning it with a collimated beam of gamma or X-rays having energies such that they are strongly absorbed by a few millimetres of germanium. Useful information may be obtained by moving the beam across the p⁺ entrance window of the detector (transverse scan) or along its lateral surface (side scan).

6.2 Radiation sources

Several radiation sources which are convenient for scanning (as well as sources for depletion voltage measurements) are listed in Table I.

TABLEAU I

Source de rayonnement pour l'examen du volume utile d'un semicteur

Source	Période	Rayonnement (keV)	Longueur d'absorption dans le Ge (mm)	Longueur d'absorption dans le Pb (mm)
¹⁰⁹ Cd	453 j	22 } rayons X de Ag 25 }	0,0587	0,013
			0,0835	0,018
			2,59	0,48/0,12 (à la discontinuité k)
²⁴¹ Am	433 a	60	0,962	0,18
⁵⁷ Co	270 j	14	0,019	0,0065
		122	5,31	0,27
¹³⁷ Cs	30 a	662	27	8,0
⁶⁰ Co	5,27 a	1332	38	16
²⁰⁸ Tl (de ²²⁸ Th)	698 j	2615	48	21

j = jour
a = année

Avec ces sources on peut utiliser un collimateur constitué par un trou de 0,5 mm à travers 3 mm de plomb pour produire un spot de balayage qui convient. Une source ponctuelle de 370 MBq (10 mCi) placée à 3 cm derrière le trou du collimateur fournira un faisceau d'intensité qui convient. Pour des rayonnements gamma d'énergies supérieures à 200 keV une plus grande épaisseur de plomb doit être utilisée.

Le taux de comptage maximal mesuré qui peut être observé dans les balayages est celui du pic d'énergie maximale de la source utilisée. Le taux de comptage sera réduit au-dessous de cette valeur si le faisceau est atténué par le passage à travers une zone non désertée de semi-conducteur ou s'il est absorbé dans une région où la collection des charges est faible.

6.3 Balayages transversaux

Un balayage transversal est effectué en faisant passer le faisceau à travers le contact vers lequel la limite de la zone de déplétion se déplace lorsque la tension de polarisation augmente. Puisque le taux de comptage s'approche de son maximum seulement lorsque cette limite se déplace à moins d'une longueur d'absorption de ce contact, cela peut être utilisé pour déterminer si la déplétion totale est atteinte de façon uniforme sur toute la zone du contact.

Un balayage transversal peut aussi être utilisé pour sonder les conditions de surface du semicteur. Lorsque le faisceau est promené à travers un contact, le taux de comptage commence en principe par décroître lorsqu'il arrive à moins d'un diamètre de faisceau des bords d'un semicteur à zone de déplétion totale. Toutefois, cette décroissance peut se produire plus tôt si le champ est déformé par des charges sur la surface latérale du semicteur.

6.4 Balayages latéraux

Si le rayonnement utilisé est modérément pénétrant (par exemple 88 keV ou 122 keV) on fera la moyenne de la réponse à un balayage latéral sur une épaisseur de plusieurs millimètres sous la surface du semicteur et on l'utilisera pour situer la limite de la zone de déplétion.

D'autre part, si un rayonnement moins pénétrant est utilisé (par exemple 22 keV ou 25 keV), le taux de comptage devient très sensible aux conditions de surface et peut être utilisé pour signaler la présence de couches mortes.

TABLE I
Radiation sources for scanning tests

Source	Half life	Radiation (keV)	1/e absorption length in Ge (mm)	1/e absorption length in Pb (mm)
¹⁰⁹ Cd	453 d	22 } Ag X-rays	0.0587	0.013
		25 }	0.0835	0.018
		88	2.59	0.48/0.12 (at k absorption edge)
²⁴¹ Am	433 a	60	0.962	0.18
⁵⁷ Co	270 d	14	0.019	0.0065
		122	5.31	0.27
¹³⁷ Cs	30 a	662	27	8.0
⁶⁰ Co	5.27 a	1332	38	16
²⁰⁸ Tl (from ²²⁸ Th)	698 d	2615	48	21

d = day
a = year

A collimator consisting of a 0.5 mm hole through 3 mm of lead can be used with sources to produce a suitable scanning spot. A 370 MBq (10 mCi) point source placed 3 cm behind the collimator hole will provide a beam of suitable intensity. For gamma-ray energies higher than 200 keV, a greater thickness of lead should be used.

The maximum measured count rate which may be observed in the scans is that in the full-energy peak of the source used. The count rate will be reduced below this value if the beam is attenuated by passage through an undepleted layer of semiconductor or if it is absorbed in a region where there is poor charge collection.

6.3 Transverse scans

A transverse scan is made by passing the beam through the contact towards which the depletion boundary moves with increasing bias voltage. Since the maximum count rate is approached only as this boundary moves within the 1/e absorption length of this contact, it can be used to determine whether full depletion is reached uniformly over the contact area.

A transverse scan can also be used to diagnose the surface conditions of the detector. As the beam is scanned across a contact, the count rate should begin to decrease when it comes within a beam diameter of the edges of a fully depleted detector. This decrease may take place earlier, however, if the field there is distorted by charges on the side surface of the detector.

6.4 Side scans

If the radiation being used is moderately penetrating (e.g. 88 keV or 122 keV), the response to a side scan will be averaged over a distance of several millimetres beneath the surface of the detector and can be used to locate the boundary of the depleted region. On the other hand, if less-penetrating radiation is used (e.g. 22 keV or 25 keV) the count rate becomes very sensitive to surface conditions and can be used to reveal the presence of dead layers.

7. Méthodes d'essais supplémentaires pour semicteurs à rayons X et à rayons gamma de faible énergie

7.1 Généralités

Les méthodes d'essais pour les petits semicteurs plans au germanium du type couramment utilisé pour la spectroscopie à rayons X et à rayons gamma sont analogues aux méthodes générales décrites dans la Publication 430 de la CEI. C'est pourquoi seules les parties des méthodes d'essais particulières aux semicteurs à rayons X sont décrites ici.

7.2 Résolution en énergie du semicteur

On admet en pratique que la résolution en énergie soit spécifiée pour la raie K_{α} de 5,9 keV du Mn, bien que les semicteurs X au germanium soient normalement utilisés à des énergies supérieures. La source utilisée pour cette mesure est le ^{55}Fe . L'autre mesure de résolution en énergie habituellement spécifiée est faite à la raie de 122 keV du ^{57}Co .

7.3 Résolution et position du pic en fonction du taux de comptage

Les possibilités d'un semicteur X au germanium relatives au taux de comptage et à la résolution en énergie entraînent des prescriptions opposées concernant la valeur de la résistance de contre-réaction des préamplificateurs sensibles à la charge qui utilisent une contre-réaction résistive. La meilleure résolution en énergie, spécialement aux basses énergies, est obtenue en utilisant des valeurs de la résistance de contre-réaction aussi grandes que possible (par exemple pratiquement infinie comme dans un système à couplage opto-électronique). Cependant, pour des taux de comptage élevés, l'obtention de bonnes performances nécessite une valeur faible de la résistance de contre-réaction.

Une autre contradiction se produit dans le réglage des constantes de temps de l'amplificateur principal. Une résolution en énergie optimale, en particulier aux basses énergies, exige généralement un temps de mise en forme important. Par contre, une bonne performance en taux de comptage ne peut être obtenue qu'en utilisant des constantes de temps plus courtes. La performance est déterminée par la longueur d'impulsion réelle qui est liée à la constante de temps nominale de façon variable selon les constructeurs. La résolution en énergie d'un semicteur X au germanium doit être donnée pour un taux de comptage déterminé, par exemple 1000 coups par seconde. Le taux de comptage d'entrée peut être déterminé soit en mesurant le taux de comptage de sortie et le temps mort en pourcentage au moyen d'un analyseur multicanal, soit en utilisant un système amplificateur rapide-discriminateur-échelle de comptage à la sortie du préamplificateur. Des renseignements complets sur les constantes de temps et les taux de comptage d'entrée et de sortie correspondants seront donnés dans le compte rendu des mesures de la résolution en énergie.

7.4 Epaisseur de la fenêtre d'entrée du semicteur

Ces semicteurs étant fournis dans des ensembles scellés, l'épaisseur de la fenêtre d'entrée est difficile à mesurer directement. La méthode préférée de mesure est basée sur la mesure de la différence d'absorption de deux rayonnements X ou gamma dont les intensités incidentes relatives sont connues avec précision. Ces conditions sont assurées d'une manière commode en utilisant un isotope radioactif émettant plusieurs rayonnements d'intensités relatives exactement connues dans la bande d'énergie considérée. Les sources radioactives qui conviennent sont indiquées dans le tableau II.

7. Additional test procedures for X-ray and low-energy gamma detectors

7.1 General

The procedures for testing small planar germanium detectors of the type commonly used for X-ray and gamma-ray spectroscopy are similar to the general procedures described in IEC Publication 430. Therefore, only those parts of the test procedure which are particular to X-ray detectors are outlined here.

7.2 Detector energy resolution

It is accepted practice to specify the energy resolution at the 5.9 keV K_{α} line of Mn, although germanium X-ray detectors are normally used at higher energies. The source used for this measurement is ^{55}Fe . The other energy resolution measurement normally specified is made at the 122 keV line of ^{57}Co .

7.3 Resolution and peak position versus count-rate performance

The count-rate performance and the energy resolution performance of a germanium X-ray detector system set conflicting requirements on the value of the feedback resistor of charge-sensitive preamplifiers using resistive feedback. Best energy resolution, especially at low energies, is achieved by using values of the feedback resistor with as high a resistance as possible (e.g. practically infinitely high as in an opto-electronically coupled system). However, good performance at high count rates requires a low value of the feedback resistor.

Another conflict arises in the setting of the time constants of the main amplifier. Optimum energy resolution, particularly at low energies, usually requires a long shaping time. High count rate performance on the other hand can be achieved only by employing shorter time constants. The performance is determined by the actual pulse length whose relationship to the nominal time constant varies between manufacturers. The energy resolution of a germanium X-ray detector should be given at a specified count rate, for example 1000 counts per second. The input count rate can be determined either by measuring the output count rate and the per cent dead time with a multichannel analyzer (MCA) or by using a fast amplifier-discriminator-scaler system at the preamplifier output. Complete information on time constants and corresponding input and output count rates shall be stated in reporting energy resolution measurements.

7.4 Thickness of the detector entrance window

As these detectors are supplied in sealed systems, the thickness of the detector entrance window is difficult to measure directly. The preferred method of measurement involves measurement of the absorption difference of two X- or gamma-rays whose relative incident intensities are known with precision. This requirement can most conveniently be ensured by using a radioactive isotope that emits several lines of accurately known relative intensities over the energy region of interest. Suitable radioactive sources are given in Table II.