

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC STANDARD

Publication 758

Première édition — First edition

1983

Cristal de quartz synthétique

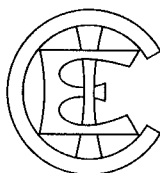
Chapitre I: Spécification concernant le cristal de quartz synthétique

Chapitre II: Guide pour l'utilisation du cristal de quartz synthétique

Synthetic quartz crystal

Chapter I: Specification for synthetic quartz crystal

Chapter II: Guide to the use of synthetic quartz crystal



© CEI 1983

Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembe

Genève, Suisse

IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60758:1983

Withdrawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC STANDARD

Publication 758

Première édition — First edition
1983

Cristal de quartz synthétique

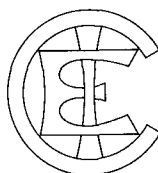
Chapitre I: Spécification concernant le cristal de quartz synthétique

Chapitre II: Guide pour l'utilisation du cristal de quartz synthétique

Synthetic quartz crystal

Chapter I: Specification for synthetic quartz crystal

Chapter II: Guide to the use of synthetic quartz crystal



© CEI 1983

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

3, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4

CHAPITRE I: SPÉCIFICATION CONCERNANT LE CRISTAL DE QUARTZ SYNTHÉTIQUE

Articles

1. Domaine d'application	6
2. Termes et définitions	6
3. Valeurs normalisées	8
4. Conditions et méthodes de mesure	10
5. Marquage	14

CHAPITRE II: GUIDE POUR L'UTILISATION DU CRISTAL DE QUARTZ SYNTHÉTIQUE

6. Généralités	16
6.1 Domaine d'application	16
6.2 Cristaux de quartz synthétique	16
7. Forme et dimensions du cristal de quartz synthétique	16
7.1 Axes et faces du cristal de quartz	16
7.2 Germe	16
7.3 Formes et dimensions	18
7.4 Zones de croissance	18
8. Méthodes normalisées permettant d'évaluer la qualité du cristal de quartz synthétique	18
9. Autres méthodes de contrôle de la qualité du cristal de quartz synthétique	20
9.1 Examen visuel	20
9.2 Méthode d'absorption du rayonnement infrarouge	20
9.3 Méthodes diverses	22
10. Classes du point de vue du facteur de qualité Q	22
11. Rédaction des commandes	22
 BIBLIOGRAPHIE	 24
 FIGURES	 26

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5

CHAPTER I: SPECIFICATION FOR SYNTHETIC QUARTZ CRYSTAL

Clause

1. Scope	7
2. Terms and definitions	7
3. Standard values	9
4. Requirements and measuring methods	11
5. Marking	15

CHAPTER II: GUIDE TO THE USE OF SYNTHETIC QUARTZ CRYSTAL

6. General	17
6.1 Scope	17
6.2 Synthetic quartz crystal	17
7. Shape and size of synthetic quartz crystal	17
7.1 Crystal axis and face designation	17
7.2 Seed	17
7.3 Shapes and dimensions	19
7.4 Growth zones	19
8. Standard method for evaluating the quality of synthetic quartz crystal	19
9. Other methods for checking the quality of synthetic quartz crystal	21
9.1 Visual inspection	21
9.2 Infra-red radiation absorption method	21
9.3 Miscellaneous	23
10. Q-grade	23
11. Ordering	23
BIBLIOGRAPHY	24
FIGURES	26

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CRISTAL DE QUARTZ SYNTHÉTIQUE

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° 49 de la CEI: Dispositifs piézoélectriques pour la commande et le choix de la fréquence.

Elle comprend le chapitre I: Spécification concernant le cristal de quartz synthétique, et le chapitre II: Guide pour l'utilisation du cristal de quartz synthétique.

Un projet du chapitre I et un projet du chapitre II furent discutés lors de la réunion tenue à Dubrovnik en 1978. A la suite de cette réunion, des projets, documents 49(Bureau Central)127 et 129, furent soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en août et septembre 1979, respectivement.

Les Comités nationaux des pays ci-après se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Chapitre I (document 49(B.C.)127):

Afrique du Sud	France
(République d')	Italie
Allemagne	Japon
Belgique	Pologne
Canada	Suisse
Chine	Turquie
Egypte	Union des Républiques
Espagne	Socialistes Soviétiques
Etats-Unis d'Amérique	Yougoslavie

Chapitre II (document 49(B.C.)129):

Afrique du Sud	Italie
(République d')	Japon
Allemagne	Pologne
Belgique	Royaume-Uni
Chine	Suède
Corée (République de)	Suisse
Egypte	Turquie
Espagne	Union des Républiques
Etats-Unis d'Amérique	Socialistes Soviétiques
France	Yougoslavie
Israël	

Autres publications de la CEI citées dans la présente norme:

- Publications n°s 68-1: Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique, Première partie: Généralités.
- 122-1: Quartz pour le contrôle et la sélection de la fréquence, Première partie: Valeurs normalisées et conditions de mesures et d'essais.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SYNTHETIC QUARTZ CRYSTAL

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.49: Piezoelectric Devices for Frequency Control and Selection.

It contains Chapter I: Specification for synthetic quartz crystal, and Chapter II: Guide to the use of synthetic quartz crystal.

A draft of Chapter I and a draft of Chapter II were discussed at the meeting held in Dubrovnik in 1978. As a result of this meeting, the drafts, Documents 49(Central Office)127 and 129, were submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in August and September 1979, respectively.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication:

Chapter I (Document 49(C.O.)127):

Belgium	South Africa (Republic of)
Canada	Spain
China	Switzerland
Egypt	Turkey
Germany	Union of Soviet
France	Socialist Republics
Italy	United States of America
Japan	Yugoslavia
Poland	

Chapter II (Document 49(C.O.)129):

Belgium	South Africa (Republic of)
China	Spain
Egypt	Sweden
France	Switzerland
Germany	Turkey
Israel	Union of Soviet
Italy	Socialist Republics
Japan	United Kingdom
Korea (Republic of)	United States of America
Poland	Yugoslavia

Other IEC publications quoted in this standard:

Publications Nos. 68-1: Basic Environmental Testing Procedures, Part 1: General.

122-1: Quartz Crystal Units for Frequency Control and Selection, Part 1: Standard Values and Test Conditions.

CRISTAL DE QUARTZ SYNTHÉTIQUE

CHAPITRE I: SPÉCIFICATION CONCERNANT LE CRISTAL DE QUARTZ SYNTHÉTIQUE

1. Domaine d'application

La présente norme s'applique aux monocristaux de quartz synthétique destinés à être utilisés pour la fabrication d'éléments piézoélectriques pour la commande et le choix de la fréquence.

2. Termes et définitions

2.1 Cristal de quartz synthétique

Monocristal de quartz α obtenu par la méthode hydrothermale. Il peut être de polarité droite ou gauche et non usiné après croissance.

2.2 Lot de cristaux de quartz synthétique

Cristaux de quartz synthétique obtenus en même temps dans le même autoclave.

2.3 Germe

Lame de quartz de section rectangulaire utilisée comme noyau pour la croissance du cristal.

2.4 Zones de croissance

Régions du cristal de quartz synthétique résultant de la croissance suivant des directions de cristallographie différentes (voir figure 1, page 26).

2.5 Orientation d'un cristal de quartz synthétique

Orientation de son germe par rapport aux axes orthogonaux définis au paragraphe 2.6.

2.6 Définition du système d'axes orthogonaux du cristal de quartz

2.6.1 Ce système d'axes orthogonaux est indiqué à la figure 2, page 27.

Note. – Le germe de coupe Z peut être orienté selon un angle inférieur à 20° à partir de l'axe Y; dans ce cas, le système des axes devient X, Y', Z'.

2.7 Dimensions

Dimensions propres à la croissance sur un germe de coupe Z orienté selon un angle inférieur à 20° à partir de l'axe Y.

2.7.1 Dimensions brutes

Dimensions maximales suivant les axes X, Y ou Y', et Z ou Z' mesurées le long des axes X, Y' et Z'.

SYNTHETIC QUARTZ CRYSTAL

CHAPTER I: SPECIFICATION FOR SYNTHETIC QUARTZ CRYSTAL

1. Scope

This standard applies to synthetic quartz single crystals intended for manufacturing piezoelectric elements for frequency control and selection.

2. Terms and definitions

2.1 *Synthetic quartz crystal*

A single crystal of alpha quartz grown by the hydrothermal method. The crystal is of either handedness and in the "as grown" condition.

2.2 *Synthetic quartz crystal batch*

Synthetic quartz crystals grown at the same time in one autoclave.

2.3 *Seed*

The rectangular cross-section quartz plate or bar used as a nucleus for crystal growth.

2.4 *Growth zones*

The regions of a synthetic quartz crystal resulting from growth along different crystallographic directions (see Figure 1, page 26).

2.5 *Orientation of a synthetic quartz crystal*

Orientation of its seed with respect to the orthogonal axes specified in Sub-clause 2.6.

2.6 *Definition of the orthogonal axial system of a quartz crystal*

2.6.1 The orthogonal axial system for quartz is illustrated in Figure 2, page 27.

Note. – The Z-cut seed may be oriented at an angle of less than 20° to the Y-axis, in this case the axial system becomes X, Y', Z'.

2.7 *Dimensions*

Dimensions pertaining to growth on a Z-cut seed rotated less than 20° from the Y-axis.

2.7.1 *Gross dimensions*

The maximum dimensions along the X, Y or Y', and Z or Z' axes measured along the X, Y' and Z' axes.

2.7.2 Dimensions propres à la croissance sur un germe de coupe Z orienté selon un angle supérieur à 20° à partir de l'axe X (à l'étude).

2.8 Inclusions

Tout matériau étranger localisé à l'intérieur d'un cristal de quartz synthétique et visible par examen en lumière dispersée produite par une source intense, le cristal étant immergé dans un liquide d'indice de réfraction adapté à celui du quartz. Une inclusion particulièrement courante est l'acmite minérale (silicate de fer et sodium).

2.8.1 Voile du germe

Ensemble des inclusions ou des lacunes à la surface du germe autour duquel s'est développé le cristal.

2.9 Dopant

Tout additif utilisé dans le procédé de croissance et qui est susceptible de changer la composition chimique, les propriétés physiques ou électriques d'un lot de quartz synthétique.

2.10 Barreau prédimensionné

Tout barreau dont les dimensions brutes ont été modifiées par sciage, polissage, rodage, etc., de façon à satisfaire une condition particulière aux dimensions.

2.11 Concentration des impuretés

La concentration des impuretés est donnée en 10^{-6} par rapport aux atomes de silicium.

2.12 Dislocation

Défauts linéaires dans le cristal dus à des plans d'atomes mal placés.

3. Valeurs normalisées

3.1 Orientation du germe

Les valeurs normalisées pour l'orientation du germe sont la coupe Z et les coupes obtenues par rotation autour de l'axe X, coupe parallèle à la petite face rhomboédrique z, coupe Z + 2° , coupe Z + 5° et coupe Z + $8^\circ 30'$, l'axe Z' des trois derniers germes étant tourné comme indiqué à la figure 2, page 27.

3.2 Inclusions

À l'étude.

3.3 Facteur de qualité

Le facteur de qualité d'un cristal de quartz synthétique (mesuré suivant le paragraphe 4.6) doit être conforme au tableau ci-dessous pour les différentes classes.

Classe	Q minimum
A	3×10^6
B	$2,4 \times 10^6$
C	$1,8 \times 10^6$
D	$1,0 \times 10^6$
E	$0,5 \times 10^6$

2.7.2 Dimensions pertaining to growth on a Z-cut seed rotated more than 20° from the X-axis (under consideration).

2.8 Inclusions

Any foreign material within a synthetic quartz crystal visible by examination of scattered light from a bright source with the crystal immersed in a refractive index-matching liquid. A particularly common inclusion is the mineral acmite (sodium iron silicate).

2.8.1 Seed veil

The array of inclusions or voids at the surface of the seed upon which a crystal has been grown.

2.9 Dopant

Any additive used in the growth process which may change the crystal habit, chemical composition, physical or electrical properties of the synthetic quartz batch.

2.10 Pre-dimensioned bar

Any bar whose “as grown” dimensions have been altered by sawing, grinding, lapping, etc., to meet a particular dimensional requirement.

2.11 Impurity concentration

The concentration of impurities is given in 10^{-6} relative to silicon atoms.

2.12 Dislocation

Linear defects in the crystal due to misplaced planes of atoms.

3. Standard values

3.1 Orientation of the seed

Standard values for orientation of the seed are Z-cuts, rotated X-cuts, minor rhombohedral (z-minor) cut, 2° rotated Z-cut, 5° rotated Z-cut and 8° 30' rotated Z-cut, the Z'-axis of the latter three seeds being rotated as shown in Figure 2, page 27.

3.2 Inclusions

Under consideration.

3.3 Q-value

The Q-value of synthetic quartz crystals (measured as in Sub-clause 4.6) shall be as listed in the table below for various grades.

Grade	Minimum Q
A	3×10^6
B	2.4×10^6
C	1.8×10^6
D	1.0×10^6
E	0.5×10^6

3.4 Caractéristiques de la fréquence en fonction de la température (figure 4, page 29, et paragraphe 4.7)

La courbe fréquence-température d'un résonateur à quartz synthétique est obtenue par la détermination de la variation relative de la fréquence mesurée à 15°C et à 35°C par rapport à la fréquence de résonance série à 25°C. La variation relative de fréquence doit être comme indiqué ci-dessous:

Variation relative de fréquence à 15°C: $+0,5$ à $+1,5 \times 10^{-6}$

Variation relative de fréquence à 35°C: $-0,5$ à $-1,5 \times 10^{-6}$

Les mesures doivent être effectuées conformément au paragraphe 12.4.2 de la Publication 122-1 de la CEI: Quartz pour le contrôle et la sélection de la fréquence, Première partie: Valeurs normalisées et conditions de mesures et d'essais.

4. Conditions et méthodes de mesure

4.1 Orientation

L'orientation du germe doit suivre les directions spécifiées avec une déviation d'angle inférieure à 30' par rapport à la valeur nominale.

4.2 Polarité

La polarité du germe doit être spécifiée: droite ou gauche (voir figure 2, page 27).

4.3 Dimensions d'un cristal de quartz synthétique

4.3.1 Dimension suivant l'axe Y ou Y'

La dimension doit être telle que spécifiée (voir figure 1d, page 26).

4.3.2 Dimension suivant l'axe Z ou Z'

La dimension suivant l'axe Z ou Z' est spécifiée comme Z ou Z', Z_{eff} ou Z'_{eff} (voir figure 1c, page 26, ou Z_{min} ou Z'_{min} (voir figure 1d) après accord entre le fabricant et l'utilisateur.

4.3.3 Dimension suivant l'axe X

La dimension brute suivant l'axe X doit être telle que spécifiée (voir figure 1c).

4.4 Dimensions du germe

4.4.1 Dimension Z ou Z'

La dimension Z ou Z' (c'est-à-dire l'épaisseur) du germe de coupe Z ou de coupe Z' obtenue par rotation doit être inférieure à 3 mm, sauf spécification contraire.

4.4.2 Dimension X

La dimension X du germe doit être telle que spécifiée.

4.5 Imperfections

4.5.1 Macles

Il ne doit pas y avoir de macles électriques ou optiques dans la région utilisée pour les résonateurs.

3.4 *The frequency versus temperature characteristics (Figure 4, page 29, and Sub-clause 4.7)*

The frequency versus temperature characteristics of synthetic quartz crystal units shall be assessed by determination of the fractional frequency deviation measured at 15°C and 35°C with respect to the series resonance frequency at 25°C. The fractional deviation shall satisfy the following:

Fractional frequency deviation at 15°C: $+0.5$ to $+1.5 \times 10^{-6}$

Fractional frequency deviation at 35°C: -0.5 to -1.5×10^{-6}

Measurements shall be made in accordance with Sub-clause 12.4.2 of IEC Publication 122-1: Quartz Crystal Units for Frequency Control and Selection, Part 1: Standard Values and Test Conditions.

4. Requirements and measuring methods

4.1 *Orientation*

The orientation of the seed shall be along specified directions with a deviation of less than 30' from nominal.

4.2 *Handedness*

The handedness of the seed shall be specified, either right-hand or left-hand (see Figure 2, page 27).

4.3 *Synthetic quartz crystal dimensions*

4.3.1 *Dimension along Y or Y'-axis*

The dimension shall be as specified (see Figure 1d, page 26).

4.3.2 *Dimension along Z or Z'-axis*

The dimension along the Z or Z'-axis shall be specified as Z or Z', Z_{eff} or Z'_{eff} (see Figure 1c, page 26, or Z_{min} or Z'_{min} (see Figure 1d) as agreed between manufacturer and user.

4.3.3 *Dimension along X-axis*

The gross dimension along the X-axis shall be as specified (see Figure 1c).

4.4 *Seed dimensions*

4.4.1 *Z or Z'-dimension*

The Z or Z'-dimension (i.e. thickness) of the Z-cut or rotated Z-cut seed shall be less than 3 mm, unless otherwise specified.

4.4.2 *X-dimension*

Dimension X of the seed shall be as specified.

4.5 *Imperfections*

4.5.1 *Twinning*

There shall be no electrical or optical twinning in the region to be used for resonators.

4.5.2 Fêlures et fractures

Il ne doit pas y avoir de fêlures ni de fractures dans la région utilisée pour les résonateurs.

4.5.3 Inclusions

A l'étude.

4.6 Facteur de qualité (Q)

La qualité du quartz synthétique est évaluée par la valeur du facteur de qualité (Q) du résonateur, mesurée d'après la spécification suivante ou par toute autre méthode, à condition qu'une corrélation ait été établie.

Le facteur de qualité (Q), mesuré à une température comprise entre 20°C et 30°C, ne doit pas être inférieur aux valeurs indiquées au paragraphe 3.3 pour la classe désignée.

Résonateur à quartz pour mesurer le facteur de qualité (Q) (figure 3a, page 28).

Fréquence	5 MHz $\pm$ 5 kHz (partiel 5)
Coupe	Coupe AT; 35° 22' $\pm$ 2'
Localisation	Zone Z
Élément cristallin	Type plan convexe Diamètre: 14 mm Rayon de courbure: 50 mm Finition de la surface: polie
Electrodes	Diamètre: 8,5 mm Matière: argent ou or Variation de fréquence équivalente à l'épaisseur de métallisation: 2 kHz
Points supports	Les deux points situés à l'intersection de l'axe Z et de la périphérie
Herméticité	Sous vide meilleur que 10 ⁻¹ N/m ² .

4.6.1 Évaluation du facteur de qualité (Q) par l'absorption infrarouge

Le facteur de qualité (Q) est estimé à l'aide du coefficient d'extinction (α) d'une lame de quartz pour une gamme de nombres d'ondes comprise entre 3400 cm⁻¹ et 3600 cm⁻¹.

On doit établir une relation entre Q et le coefficient d'extinction quand on utilise cette méthode.

4.7 Caractéristiques fréquence-température

Les spécifications du résonateur permettant d'évaluer les caractéristiques de fréquence par rapport à la température sont les suivantes, les mesures étant effectuées conformément à la Publication 122-1 de la CEI.

Fréquence	10 MHz $\pm$ 10 kHz (fondamentale)
Localisation	Zone Z
Orientation de la lame	Coupe AT; 35° 13' $\pm$ 0,5'
Forme de la lame	Carrée avec un côté parallèle à l'axe X
Dimensions latérales de la lame	8 mm $\times$ 8 mm

4.5.2 Cracks and fractures

There shall be no cracks or fractures in the region to be used for resonators.

4.5.3 Inclusions

Under consideration.

4.6 *Q*-value

The quality of a synthetic quartz crystal is evaluated by the *Q*-value of a resonator, which is made according to the following specification, or by any other method provided that correlation is established.

The *Q*-value measured at a temperature between 20°C and 30°C shall be not less than shown in Sub-clause 3.3 for the appropriate grade.

Crystal unit for measuring the Q-value (Figure 3a, page 28).

Frequency	5 MHz $\pm$ 5 kHz (5th overtone)
Crystal cut	AT-cut; 35° 22' $\pm$ 2'
Location of specimen	Z-zone
Crystal element	Plano-convex type Diameter: 14 mm Radius of curvature: 50 mm Finish of the surface: polish
Electrodes	Diameter: 8.5 mm Material: silver or gold Plate back of frequency: 2 kHz
Supporting points	At the two points which are intersections between the Z-axis and the periphery
Seal	In vacuum better than 10 ⁻¹ N/m ² .

4.6.1 Evaluation of *Q* by infra-red absorption

The *Q*-value may be estimated by the extinction coefficient (α) of a quartz slice at a wave number in the range between 3400 cm⁻¹ and 3600 cm⁻¹.

When this method of *Q* evaluation is employed, correlation shall be established between *Q* and the extinction coefficient.

4.7 Frequency versus temperature characteristics

The specifications for the crystal unit for evaluating the frequency versus temperature characteristics shall be as follows and measurements shall be made as specified in IEC Publication 122-1.

Frequency	10 MHz $\pm$ 10 kHz (fundamental)
Location of specimen	Z-zone
Orientation of plate	AT-cut; 35° 13' $\pm$ 0.5'
Shape of plate	Square with one edge along the X-axis
Lateral dimensions of plate	8 mm $\times$ 8 mm

Diamètre de l'électrode	$4 \pm 0,1 \text{ mm}$
Variation de fréquence équivalente à l'épaisseur de métallisation	$70^{+0}_{+20} \text{ kHz}$
Matière de l'électrode	Argent ou or
Points supports	Sur deux coins opposés
Finition de la surface	Douci (la dimension moyenne des particules d'abrasif doit être inférieure à $3 \mu\text{m}$); ensuite, attaque par l'acide à environ 200 kHz
Planéité de la surface	Quand on éclaire en lumière monochromatique à travers un plan étalon de verre et qu'on examine une zone circulaire de diamètre égal à 6 mm, le produit du nombre d'anneaux par la fréquence exprimée en mégahertz ne doit pas dépasser 5 en lumière jaune, ou 6 en lumière verte
Parallélisme	Les deux faces de la lame doivent être parallèles à $10''$ près
Fermeture	Hermétiquement fermée dans une atmosphère d'azote sec aux conditions atmosphériques normales pour la température et la pression (voir le paragraphe 5.1 de la Publication 68-1 de la CEI: Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique, Première partie: Généralités)

4.8 Densité des dislocations

A l'étude.

4.9 Concentration des impuretés

A l'étude.

5. Marquage

Chaque cristal de quartz synthétique portera les indications suivantes marquées clairement sur une surface X:

- 1) Nom du fabricant ou marque commerciale;
- 2) Orientation du cristal;
- 3) Polarité du cristal:
 - R.H. pour quartz droit;
 - L.H. pour quartz gauche;
- 4) Si spécifié, autres informations telles que:
 - 4.1 Identification du lot;
 - 4.2 Facteur de qualité garanti.

Diameter of electrodes	$4 \pm 0.1 \text{ mm}$
Plate back of frequency deviation	$70^{+0}_{-20} \text{ kHz}$
Electrode material	Silver or gold
Supporting points	At two points on opposite corners
Finish of surface	Lapped (average particle size of abrasive less than $3 \mu\text{m}$), then etched by 200 kHz
Flatness of surface	When illuminated with monochromatic light through an optical flat glass and examined within a circular zone of 6 mm diameter, the product of the fringe curvature and the frequency expressed in megahertz shall not exceed 5 if measured with yellow light or 6 if measured with green light
Parallelism	Both surfaces of plate shall be parallel within $10''$
Seal	Hermetically enclosed in a dry nitrogen atmosphere at standard atmospheric conditions for temperature and pressure (see Sub-clause 5.1 of IEC Publication 68-1: Basic Environmental Testing Procedures. Part 1: General)

4.8 Dislocation density

Under consideration.

4.9 Impurity concentration

Under consideration.

5. Marking

Each synthetic quartz crystal shall have the following information clearly marked on an X surface:

- 1) Manufacturer's name or trade mark;
 - 2) Orientation of material;
 - 3) Handedness of material:
 - R.H. stands for right-handed quartz;
 - L.H. stands for left-handed quartz;
 - 4) Other information if specified to be marked such as:
 - 4.1 Batch identification;
 - 4.2 Q-grade.
-

CHAPITRE II: GUIDE POUR L'UTILISATION DU CRISTAL DE QUARTZ SYNTHÉTIQUE

6. Généralités

6.1 *Domaine d'application*

Le présent guide a été établi afin de répondre au désir généralement exprimé par les utilisateurs et les fabricants, de disposer d'un guide qui permettrait d'utiliser le cristal de quartz synthétique avec tous ses avantages. Son but n'est pas d'expliquer les procédés techniques de fabrication du résonateur à quartz ni de rappeler toutes les propriétés du cristal de quartz synthétique.

6.2 *Cristal de quartz synthétique*

Les cristaux de quartz synthétique sont obtenus par la méthode hydrothermale à gradient de température. Une chambre sous pression (autoclave) est partiellement remplie de solution alcaline (par exemple Na_2CO_3 ou NaOH) à la température de la chambre. Les germes sont placés en haut et les éléments de quartz nutritifs en bas de l'autoclave. Ensuite, l'autoclave est fermé hermétiquement et chauffé, la température du haut de l'autoclave étant maintenue inférieure à celle du bas. De cette façon, le soluté nutritif est transporté par des courants de convection et déposé sur les germes.

La forme, les dimensions et les propriétés physiques des cristaux obtenus dépendent de l'orientation, des dimensions du germe et des conditions de croissance. Un bon contrôle de la croissance assure l'uniformité des dimensions et de la forme, et l'homogénéité de la qualité.

7. Forme et dimensions du cristal de quartz synthétique

7.1 *Axes et faces du cristal de quartz*

La littérature et les normes nationales présentent des différences dans le choix des axes, de la polarité et des systèmes d'axes utilisés pour décrire le cristal de quartz.

La figure 5a, page 30, montre un cristal de quartz avec toutes ses faces naturelles, mais celles-ci ne sont pas toujours présentes dans le quartz synthétique. La figure 5b, page 30, représente les faces du quartz synthétique. Suivant l'orientation des germes autour desquels les cristaux de quartz se sont développés, ceux-ci peuvent avoir une apparence physique différente de celles indiquées sur les figures 5a et 5b.

7.2 *Germe*

Plusieurs orientations normalisées des germes ont été choisies, de telle façon que les résonateurs à quartz les plus fréquemment utilisés puissent être fabriqués économiquement.

Les cristaux de quartz synthétique obtenus à partir de germes de coupe Z ou de germes parallèles à la petite face rhomboédrique sont principalement utilisés pour la fabrication de résonateurs à quartz à haute fréquence, vibrant en mode de cisaillement d'épaisseur et de résonateurs à quartz à fréquence moyenne, vibrant en mode de cisaillement plan. Les cristaux obtenus à partir de germes de coupe Z' sont utilisés pour les résonateurs à basse fréquence, vibrant en flexion ou en elongation.

Dans un cristal synthétique, le germe est habituellement enveloppé d'un voile mince formé de bulles et d'inclusions.

CHAPTER II: GUIDE TO THE USE OF SYNTHETIC QUARTZ CRYSTAL

6. General

6.1 Scope

This guide has been prepared in response to a generally expressed desire on the part of both users and manufacturers for a guide to the use of synthetic quartz crystal, so that it may be used to its best advantage. It is not the function of this guide to explain the practical techniques of manufacturing a crystal unit from quartz crystal, nor to attempt to cover all the properties of synthetic quartz crystal.

6.2 Synthetic quartz crystal

Synthetic quartz crystals are grown by the hydrothermal temperature gradient method. A pressure chamber (autoclave) is partially filled with the alkaline (e.g. Na_2CO_3 or NaOH) growing solution at room temperature. Seeds are placed in the upper space, and nutrient quartz fragments are placed in the bottom of the autoclave which is then sealed and heated. The temperature in the upper space is kept lower than the temperature at the bottom. Hence the solute nutrient is transferred by convection currents to the seeds and deposited.

Shapes, dimensions and physical properties of grown crystals depend on the orientation and dimensions of the seeds and on growing conditions. A good control of growing processes ensures uniformity in shapes and dimensions and homogeneity in quality.

7. Shape and size of synthetic quartz crystal

7.1 Crystal axis and face designation

In textbooks and in national standards, differences exist in the choice of axes, handedness and axial systems for describing a quartz crystal.

Figure 5a, page 30, shows a quartz crystal with all the natural faces. These are not always present on synthetic quartz. Figure 5b, page 30, gives the synthetic quartz faces, but since these crystals are grown from specifically oriented seeds, their physical appearance may differ materially from those shown in Figures 5a and 5b.

7.2 Seed

Several standard orientations of seeds are chosen so that the most frequently used crystal units can be economically manufactured.

Crystals made from Z-cut and minor rhomb (z-minor) cut seeds are mainly for manufacturing high-frequency crystal units vibrating in thickness shear modes and medium frequency units vibrating in face shear modes. Crystals made from Z'-cut seeds are for manufacturing low-frequency crystal units vibrating in extensional or flexural modes.

A seed in a grown crystal is usually surrounded by a thin veil, which consists of bubbles and inclusions.

7.3 Formes et dimensions

Les cristaux de quartz synthétique brut possèdent des faces de croissance caractéristiques. La figure 6, page 31, montre une forme typique d'un cristal cultivé sur un germe de coupe Z de petite dimension X. Lorsque le germe de coupe Z a des proportions différentes ou lorsqu'on utilise des germes d'autres coupes, la forme des cristaux produits est différente.

Les dimensions des cristaux de quartz synthétique sont définies par les trois dimensions nominales: X, Y' et Z'. Celles-ci sont les dimensions suivant les trois axes X, Y (ou Y'), Z (ou Z'), respectivement, comme l'indique la figure 6. Les dimensions sont choisies de façon à favoriser l'économie dans le procédé de croissance et à obtenir un bon rendement dans la production des éléments cristallins. Mais il convient de se rappeler que les dimensions sont matière à discussion entre fabricant et utilisateur.

Comme le cristal synthétique brut possède des faces de croissance telles que la face m ou la face z aux extrémités de l'axe Y ou Y', la dimension effective utilisée pour la fabrication des cristaux piézo-électriques est inférieure à la longueur nominale.

Une mesure exacte de la dimension minimale Z' peut être difficile en pratique car les faces Z ne sont pas parfaitement planes et peuvent ne pas être parallèles. Il est aussi difficile d'obtenir des tolérances serrées sur ces dimensions.

Pour ces raisons, lorsque les tolérances exigées par l'utilisateur sont plus serrées que celles que le fabricant peut respecter, on peut envisager la possibilité d'utiliser le matériau sous la forme semi-ouvrée (quelquefois appelé quartz prédimensionné ou préebauché).

7.4 Zones de croissance

Le dépôt de soluté sur chaque face de croissance est continu et sensiblement uniforme. Mais ce dépôt s'effectue de façon différente suivant les faces. Il en résulte des régions dont la croissance s'est produite le long de directions différentes et qui possèdent des propriétés différentes. Parmi les zones de croissance les plus fréquemment citées dans la norme, la zone Z est celle qui offre la meilleure qualité, puis viennent la grande zone X et la zone S. C'est pourquoi il est recommandé de tailler l'élément de cristal vibrant en cisaillement d'épaisseur ou en cisaillement plan, entièrement ou presque entièrement dans la zone Z, et de faire en sorte que seul du quartz de zone Z soit placé sous l'électrode de l'élément fini. La petite zone X est de qualité inférieure et n'est habituellement pas utilisée pour la production des résonateurs à quartz haute fréquence.

Les figures 3a et 3b, page 28, montrent la façon de découper le bloc de quartz afin d'obtenir des lames de coupe AT et de coupe X en tenant compte des zones de croissance.

8. Méthodes normalisées permettant d'évaluer la qualité du cristal de quartz synthétique

L'imperfection de la structure du quartz synthétique dépend des conditions de croissance, des dopants utilisés et particulièrement de la vitesse de croissance; il résulte de cette imperfection deux conséquences pratiques importantes: premièrement, le facteur de qualité du quartz peut être détérioré; deuxièmement, l'angle de coupe nécessaire pour obtenir certaines caractéristiques fréquence-température peut ne pas être constant.

Le facteur de qualité Q peut être utilisé pour évaluer la qualité du matériau. Le résonateur à quartz fabriqué conformément au paragraphe 4.6 du chapitre I permettra d'assurer que le facteur de qualité Q reflète les pertes d'énergie internes et non celles dues à la monture, ou à des différences mineures d'une technique de fabrication à l'autre. Un tel résonateur à quartz étant de grande dimension, il est parfois impossible de le réaliser dans la zone Z. Toutefois, on peut utiliser des résonateurs à quartz plus petits après l'établissement d'une corrélation avec le résonateur à quartz normalisé.

7.3 Shapes and dimensions

“As grown” synthetic quartz crystals are covered with the characteristic growth surfaces. Figure 6, page 31, shows the typical shape for a crystal grown on a Z-cut seed of small X dimension. Crystals of other shapes will be produced when the Z-cut seed is of other proportions or seeds of other cuts are used.

The size of synthetic quartz crystals is specified by three nominal dimensions: X, Y' and Z'. They are the dimensions along the X-axis, Y (or Y')-axis, and the Z (or Z')-axis respectively, as shown in Figure 6. The dimensions are so chosen that both economy in the growth process and good yield in production of crystal elements may be achieved but it should be appreciated that dimensions are a matter for discussion between user and manufacturer.

Since “as grown” crystals exhibit such growth surfaces as m-face or z-face at the ends of the Y or Y'-axis, the effective dimension which may be used for fabricating crystal elements is shorter than the nominal length.

An exact measurement of the minimum dimension Z' may be troublesome in practice, because of non-flatness and possible non-parallelism of the Z surfaces. It is also difficult to achieve close dimensional tolerances.

For these reasons, in cases where the user's tolerances on dimensions are closer than the manufacturer can supply, the use of partly processed material shall be considered (this is sometimes described as pre-dimensioned or lumbered quartz).

7.4 Growth zones

Deposition of solute on each growth surface is continuous and substantially uniform but the manner of deposition differs from surface to surface. Hence, different regions result from growth along different directions and those regions have different properties. Among the common growth zones mentioned in the standard, the Z-zone exhibits the highest quality, then the greater X-zone and S-zone follow. Hence, it is recommended that thickness shear and face shear crystal elements should be cut entirely or mostly from the Z-zone and that only Z-zone material be included under the electrode of the finished crystal unit. The lesser X-zone exhibits the lowest quality and is usually discarded in the production of high-frequency crystal units.

Figures 3a and 3b, page 28, show typical examples of cutting wafers of AT-cut plates and X-cut plates from appropriate growth zones.

8. Standard method for evaluating the quality of synthetic quartz crystal

The degree of structural imperfection of a synthetic quartz crystal depends on growth conditions, dopants used and especially on growth rate resulting in two important practical consequences. First, the *Q* of crystal units may be degraded. Second, the angle of cut to yield a certain frequency/temperature characteristic may not be uniform.

The *Q*-value of a crystal unit can be used as a guide to the quality of the material. A crystal unit manufactured in accordance with Sub-clause 4.6 of Chapter I will ensure that the *Q*-value reflects the internal loss but not the mounting loss and minor differences in fabrication techniques between manufacturers. The size of this crystal unit is large and sometimes impossible to cut from the Z-zone. Smaller crystal units may be used after correlation with the standard crystal unit is established.

La dispersion d'angle de coupe optimal devient très réduite et comparable à celle du cristal de quartz naturel quand le facteur de qualité dépasse 1,8 million. Aussi, de tels cristaux sont-ils recommandés pour la production de résonateurs à quartz haute fréquence ayant de bonnes caractéristiques de température.

On a noté que le facteur de qualité diminue rapidement quand la température croît, pour des cristaux de facteur de qualité faible, de l'ordre de quelques centaines de milliers. Aussi, la variation du facteur de qualité en fonction de la température est-elle parfois utilisée pour caractériser les cristaux synthétiques. Mais cette méthode n'est pas recommandée pour les cristaux dont le facteur de qualité est élevé.

Avec un bon contrôle du procédé de croissance, on assure l'uniformité des facteurs de qualité dans un même lot de production. Un échantillon du lot de production doit inclure un des cristaux de quartz synthétique ayant l'épaisseur maximale le long de l'axe Z ou Z'. Le choix de cet échantillon est lié au fait que le facteur de qualité est inversement proportionnel à la vitesse de croissance. Ainsi, le cristal ayant l'épaisseur maximale aura la valeur la plus basse du facteur de qualité dans le lot. Aussi, pour la plupart des applications, suffit-il d'effectuer les essais par échantillonnage.

Comme mesure supplémentaire pour évaluer le quartz synthétique, on spécifie dans la norme un résonateur à quartz destiné aux mesures des caractéristiques fréquence-température. L'angle de coupe est choisi de telle façon que les courbes fréquence-température aient une pente linéaire et qu'elle soient sensibles aux variations de l'angle de coupe. Les formes et les dimensions de ce quartz sont telles qu'elles permettent de déterminer un angle de coupe précis. La valeur du facteur de qualité de ce résonateur à quartz dépendant étroitement de la monture et des procédés de fabrication, il convient de ne pas utiliser cette caractéristique pour évaluer le facteur de qualité du cristal.

9. Autres méthodes de contrôle de la qualité du cristal de quartz synthétique

Il existe différentes méthodes pour contrôler la perfection de structure du quartz synthétique, mais les relations quantitatives entre celles-ci et les caractéristiques électriques d'un résonateur à quartz n'ont pu être établies parfaitement. La méthode d'absorption du rayonnement infrarouge décrite ci-après, utilisable pour évaluer la valeur du facteur de qualité Q , constitue une exception.

9.1 Examen visuel

Il convient d'éviter la présence d'une grande quantité d'inclusions dans l'élément de quartz.

9.2 Méthode d'absorption du rayonnement infrarouge

Certains radicaux inclus dans le réseau cristallin absorbent le rayonnement infrarouge de nombres d'onde déterminés. Le radical d'impuretés le plus courant dans le quartz synthétique est l'ion hydroxyle OH dont la quantité peut être établie par le coefficient d'extinction infrarouge pour un nombre d'onde choisi dans la gamme entre 3400 cm^{-1} et 3600 cm^{-1} .

Il y a un rapport entre la concentration de radicaux OH et les pertes d'énergie mécaniques dans le quartz; aussi existe-t-il une relation entre l'absorption et le facteur de qualité. La figure 7, page 31, présente une courbe typique d'étalonnage et des points de mesure sur cette courbe. La courbe d'étalonnage peut différer suivant les procédés de croissance. Cette méthode est très précise quand il s'agit d'évaluer des cristaux dont le facteur de qualité est faible.

L'absorption infrarouge est habituellement mesurée dans la zone Z. La structure du cristal dans la grande zone X différant de celle de la zone Z, l'absorption dans ces deux zones sera différente.

Il convient aussi de noter que le coefficient d'extinction infrarouge peut varier avec le choix:

- des dimensions de l'ouverture placée sur le faisceau infrarouge;
- de la position du point où est effectuée la mesure par rapport à la position du germe;
- du plan de polarisation.

The spread of the optimum angle of cut becomes very small and comparable to the spread in natural quartz crystals, when the Q -value exceeds 1.8 million. Hence such crystals are recommended for the production of high-frequency crystal units having good temperature characteristics.

It is noted that the Q -value decreases rapidly with increase in temperature in crystals having low Q , i.e. a few hundred thousand. Hence, the variation of the Q -value with temperature is sometimes used to evaluate synthetic crystals. This practice is not recommended for high- Q crystals.

With good control of the growth process, uniformity of Q -values within one batch of production is ensured. A sample from one production batch should include a synthetic quartz crystal having the maximum thickness along Z or Z' -axis. A choice of this sample relates to the fact that the Q -value is inversely proportional to the growth rate. Hence, the crystal with maximum thickness will have the lowest Q -value in the batch. Hence, tests on a sampling basis will suffice for most applications.

As an additional measure for evaluating synthetic quartz, a test crystal unit is specified in the standard for testing frequency versus temperature characteristics. The specification for angle of cut is so chosen that frequency versus temperature characteristics have linear slope and sensitive dependence on angle of cut. The specified shape and dimensions of the test element are suitable to determine an accurate angle of cut. The Q -value of this crystal unit depends considerably on the mounting and fabrication processes and should not be used to evaluate the Q of a crystal.

9. Other methods for checking the quality of synthetic quartz crystal

There are various methods for checking the structural perfection of synthetic quartz crystal but quantitative correlations with electrical characteristics of crystal units have not been completely established. An exception is the infra-red absorption method described later, which is useful for estimating the value of Q .

9.1 Visual inspection

Excessive amounts of inclusions in crystal elements should be avoided.

9.2 Infra-red radiation absorption method

Some radicals, included in the crystal lattice, absorb infra-red radiation at certain wave numbers. The most common impurity radical in synthetic quartz is hydrogen bonded OH, the amount of which can be estimated by the infra-red extinction coefficient at a selected wave number in the range between 3400 cm^{-1} and 3600 cm^{-1} .

The concentration of OH radicals is related to the mechanical energy losses in a quartz crystal and hence there is a correlation between the absorption and the Q -value. Figure 7, page 31, shows a typical calibration curve together with measured points. The calibration curve may differ for different growth processes. This method is most accurate for the evaluation of low Q crystals.

The infra-red absorption is usually measured in the Z -zone as the crystal structure and the absorption in the greater X -zone differ from those in the Z -zone.

It should also be noted that the infra-red extinction coefficient may vary due to the choice of:

- the dimensions of the window placed on the infra-red beam;
- the position of the point where the measurement is made in relation to the position of the seed;
- the plane of polarization.

9.3 Méthodes diverses

La méthode de contrôle par attaque chimique, largement utilisée pour détecter les macles dans le quartz naturel, n'est pas exigée dans le cas du quartz synthétique où les macles sont rares. La méthode peut être utilisée pour révéler les figures de corrosion utilisables pour mesurer le nombre de dislocations. L'irradiation gamma ou X est utilisée pour observer la distribution d'ensemble des impuretés. L'intensité de la pigmentation noire due à l'irradiation dépend de la concentration des impuretés. Les diagrammes de diffraction aux rayons X donnent des renseignements utiles sur la perfection des cristaux. Une valeur élevée du facteur de qualité produit des diagrammes de Laue mieux définis lorsqu'on utilise un faisceau divergent de rayons X. La topographie à rayons X par la méthode de Lang est utile pour déterminer la distribution des défauts de structure.

Toutefois, il convient de noter qu'il n'existe pas de relation quantitative entre toutes ces méthodes et les caractéristiques électriques du résonateur à quartz terminé.

10. Classes du point de vue du facteur de qualité Q

Cinq classes sont spécifiées. Les classes A et B sont exigées pour les résonateurs à quartz de qualité supérieure. La classe C convient particulièrement pour les résonateurs à quartz haute fréquence, qui demandent de bonnes caractéristiques de température aussi bien que de fortes valeurs du facteur de qualité Q . Les classes D et E sont utilisées pour les résonateurs à quartz basse fréquence lorsqu'on recherche principalement des cristaux de grandes dimensions à bas prix.

11. Rédaction des commandes

Les caractéristiques suivantes sont spécifiées à la commande. Les valeurs normalisées doivent être utilisées de préférence:

- 1) type de quartz (droit ou gauche);
- 2) orientation du germe;
- 3) dimensions;
- 4) classe du point de vue du facteur de qualité Q .

9.3 Miscellaneous

The chemical etch method of inspection which is widely used for detecting twins in natural quartz, is not required in the case of synthetic quartz, where twins are very rare. The method may be used to reveal etch pits as a measure of the number of dislocations. Gamma or X-ray irradiation is used for observing overall distribution of impurities. The darkening due to irradiation depends on impurity concentration. X-ray diffraction patterns give useful information on the perfection of crystals. The high Q -value results in sharper Laue patterns using a divergent X-ray beam. X-ray topography by the Lang method is useful in detecting the distribution of structural defects.

However, it should be noted that all of these methods lack quantitative correlation with electrical characteristics of completed crystal units.

10. Q -grade

Five grades are specified. Grades A and B are required for the highest quality crystal units. Grade C is mostly suitable for high-frequency crystal units, which require good temperature characteristics as well as high Q -values. Grades D and E are mostly for low-frequency crystal units, for which a large size of crystal at low cost is the prime concern.

11. Ordering

The following items shall be specified when ordering. Standard values shall be used whenever possible:

- 1) type of quartz (R.H. or L.H.);
- 2) orientation of seed;
- 3) dimensions;
- 4) Q -grade.

BIBLIOGRAPHIE – BIBLIOGRAPHY

Général – General

1. R.A. Laudise and J.W. Nielsen: *Hydrothermal Crystal Growth* (Academic Press Inc.: Solid State Physics, v. 12, p. 149).
2. W.J. Spencer: *Observation of Resonant Vibrations and Defect Structure in Single Crystals by X-ray Diffraction Topography* (Academic Press: Physical Acoustics, v. 5, p. 111).
3. D.B. Fraser: *Impurities and Anelasticity in Crystalline Quartz* (Academic Press: Physical Acoustics, v. 5, p. 59).

Articles spécialisés – Specialized

4. IEC Publication 122-1: *Quartz Crystal Units for Frequency Control and Selection, Part 1: Standard Values and Test Conditions*, 1976.
5. IEC Publication 122-2: *Quartz Crystal Units for Frequency Control and Selection, Part 2: Guide to the Use of Quartz Crystal Units for Frequency Control and Selection*, 1983.
6. A.C. Walker: *Hydrothermal Growth of Quartz Crystals* (Ind. Eng. Chem., v. 46, p. 1670, 1954).
7. D.L. Wood: *Infrared Absorption of Defects in Quartz* (J. Phys. Chem. Solids, v. 13, p. 326, 1960).
8. C.S. Brown: *Internal Friction in Synthetic Quartz* (Proc. Phys. Soc., v. 75, p. 459, 1960).
9. F. Augustine and D.R. Hale: *Topography and Etch Patterns of Synthetic Quartz* (J. Phys. Chem. Solids, v. 13, p. 334, 1960).
10. J.W. Nielsen and F.G. Foster: *Unusual Etch Pits in Quartz* (Amer. Mineral, v. 45, p. 299, 1960).
11. S.V. Starodubtsev, Sh. Vakhidov and L.I. Tsinober: *Sector Distribution of Luminescence Centres in Synthetic Quartz* (Kristallografia, v. 8, p. 770, 1964. En russe – In Russian).
12. L.I. Tsinober and I.E. Kamentsev: *Effect of Growth Rate on the Concentration of Centres of Smoky Colour and on the Unit Cell Parameters of Synthetic Quartz Crystals* (Kristallografia, v. 9, p. 448, 1964. En russe – In Russian).
13. A.A. Ballman and D.W. Rudd: *The Growth of Cultured Quartz* (Western Electric Engineer, v. 9, p. 3, 1965).
14. D.M. Dodd and D.B. Fraser: *The 3000–3900 cm^{-1} . Absorption Bands and Anelasticity in Crystalline α -Quartz* (J. Phys. Chem. Solids, v. 26, p. 673, 1965).
15. D.W. Rudd, E.E. Houghton and W.J. Carrol: *Mechanical Q of Alpha-Quartz Rapidly Evaluated* (Western Electric Engineer, v. 10, p. 22, 1966).
16. W.J. Spencer and K. Haruta: *Defects in Synthetic Quartz* (J. Appl. Physics, v. 37, p. 549, 1966).
17. A.R. Lang and V.F. Miuskov: *Dislocation and Fault Surface in Synthetic Quartz* (J. Appl. Phys., v. 38, p. 2477, 1967).
18. G. Matsuki and F. Iwasaki: *Hydrogen Bonded OH in Synthetic Quartz* (Japan, J. Appl. Phys., v. 7, p. 1136, 1968).
19. I. Koga: *Specifying Quartz Crystal Cuts without Regard to Handedness* (Proc. IEEE, v. 57, No. 12, 1969, p. 2171).
20. B. Sawyer: *Capability Indication from Infrared Absorption Measurements for Na_2CO_3 Processed Cultured Quartz* (IEEE "Trans. Sonics and Ultrasonics", v. SU-19, p. 41, 1972).
21. N.C. Lias, E.E. Grudenski, E.D. Kalb and R.A. Laudise: *The Growth of High Acoustic Q Quartz at High Growth Rates* ("J. Crys. Growth", v. 18, p. 1, 1973).
22. J. Asahara, E. Yazaki, K. Takazawa and K. Kita: *Influences of the Inclusions in Synthetic Quartz* ("Proc. 29th Ann. Freq. Control Symp.", p. 211, 1975).

– Page blanche –
– Blank page –

Withdawn
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60758:1983