

Évolution de la fabrication de cristaux de quartz

Par Nick Amey & Paul Smith, IQD Frequency Products Ltd

L'utilisation du quartz comme dispositif de régulation de fréquence n'a cessé de se développer ces 50 dernières années. L'amélioration du traitement du quartz, associée aux techniques de réduction de la taille des découpes de quartz, a permis de créer des dispositifs à cristaux plus petits présentant de meilleures performances techniques. Le procédé de base visant à utiliser l'effet piézoélectrique intrinsèque du quartz et à l'associer à un amplificateur et à une boucle de réaction, pour donner un oscillateur à quartz, n'a toutefois relativement pas changé.

Le quartz brut utilisé pour fabriquer des cristaux doit être de très bonne qualité et de grande pureté. Auparavant, le quartz utilisé était extrait de mines, et seule une petite quantité était de qualité suffisamment bonne pour être utilisée dans l'industrie du cristal. Toutefois, de gros volumes, une grande qualité et des coûts faibles étaient nécessaires, et cela a encouragé le développement de la fabrication de quartz artificiel.

Le quartz synthétique moderne est maintenant créé de manière artificielle dans un autoclave. Il s'agit d'une enceinte sous haute pression et haute température, dans lequel se trouvent des « germes » de quartz permettant la croissance du quartz. Ce procédé permet de réguler la pureté du quartz fabriqué, et est donc adapté aux applications modernes.

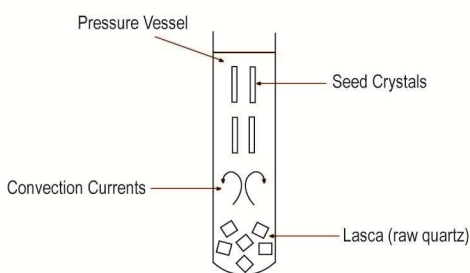


Figure 1 — Un autoclave

Une fois fabriquée, la barre ou la pierre de quartz est coupée en lamelles. Étant donné que l'angle auquel le quartz est coupé a des incidences sur la stabilité en température, il est crucial de couper le quartz avec précision. On utilise ainsi une machine à rayons X pour s'assurer que les coupes sont correctes et conformes aux axes cristallographiques. Étant donné que 90 % des cristaux de quartz sont découpés en fonction de ce que l'on appelle la « coupe AT », le quartz est découpé à un angle de 35 degrés et 15 minutes par rapport à l'axe Z de la barre initiale.

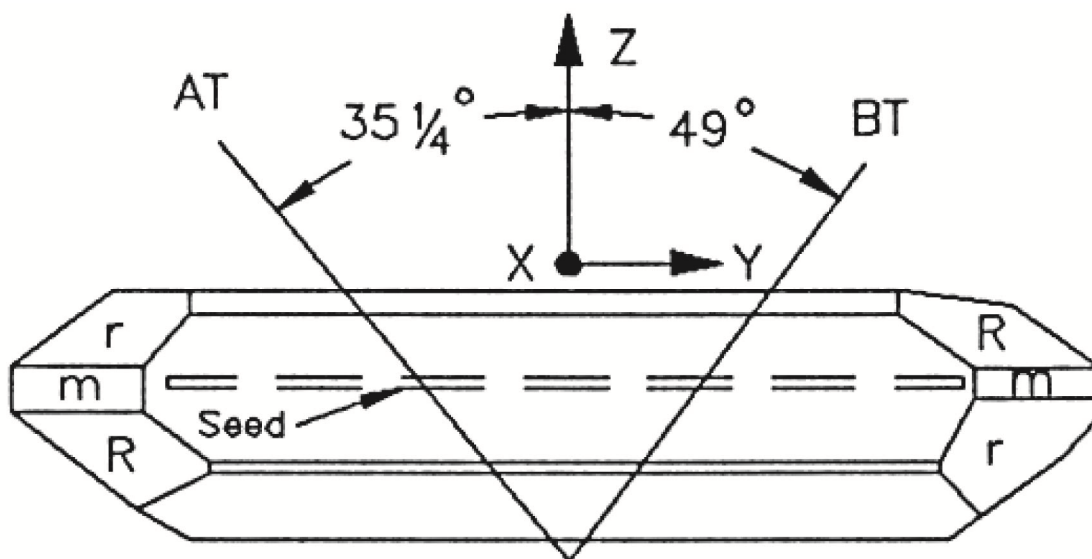


Figure 2 — Coupes de cristaux

Des scies multi-lames spécialisées sont utilisées pour couper les barres de quartz brut, et peuvent être munies d'un instrument de mesure de réfraction laser combiné à un système de montage et de collage. Cela permet de coller les pierres les unes aux autres en alignant les angles cristallographiques. La scie peut alors couper les barres et donner aux produits finis des déviations d'environ 10 secondes d'arc (soit $1/360^\circ$ de degré !).

Les cristaux de coupe AT présentent une courbe de température similaire à $y = x^3$ et les déviations de l'angle de coupe utilisé auront des incidences sur la forme de la courbe et la stabilité en fréquence du produit fini.

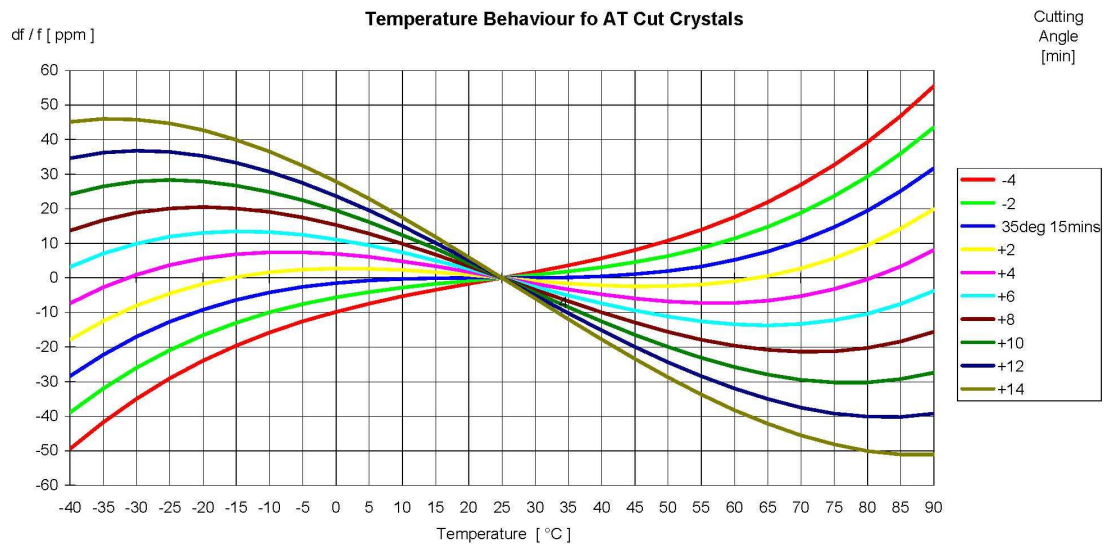


Figure 3 — Courbe de température du cristal de coupe AT

Les applications électroniques modernes ont besoin de cristaux à haute stabilité qui fonctionnent dans de larges plages de température. Comme le montrent les graphiques des angles de quartz en coupe AT, il existe une loi physique basique qui ne peut être surmontée, et donc des circuits électroniques de compensation de température peuvent être utilisés comme dans un dispositif à TCXO pour compenser les variations de fréquence par rapport à la température.

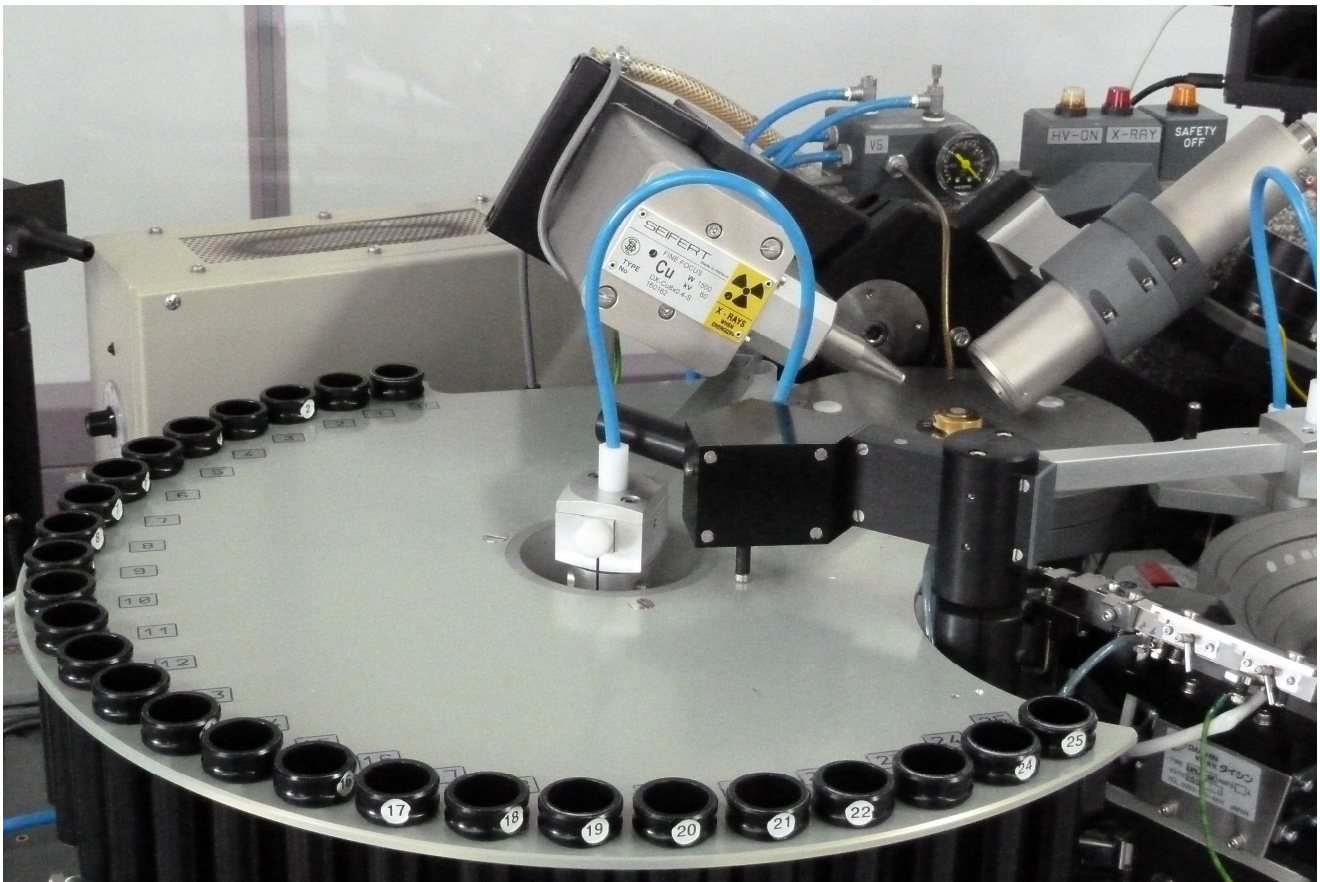


Figure 4 — Un trieur d'angles

Comme dans tout processus de fabrication, il est nécessaire de contrôler le rendement du quartz fabriqué. Pour fabriquer des cristaux conformes aux exigences d'angle strictes, une plus grande quantité de cristaux doit être fabriquée avant d'être divisée en plusieurs groupes. Les cristaux restants sont utilisés dans des applications ayant d'autres spécifications, et les usines de cristaux ont donc souvent un stock de découpes de cristaux à disposition.

Une fois la découpe de cristal fabriquée, sa fréquence de résonance doit être définie. Cette fréquence est inversement proportionnelle à la masse du cristal de quartz. Pour les découpes AT, la fréquence de résonance sera d'environ 1680 divisé par l'épaisseur en mm. Par exemple, un produit de 10 MHz devra être broyé, abrasé, décapé et poli jusqu'à une épaisseur d'environ 0,168 mm. À chaque phase du processus, il existe un risque d'écaillage, de fissuration, de rayage ou de perte de parallélisme. Ces problèmes peuvent causer un dysfonctionnement du produit fini, et entraîner un fonctionnement non désiré, voire même des variations soudaines de fréquence dans certains cas.

Malgré la demande de fréquences de plus en plus élevées, il arrive un moment où il s'avère impossible de traiter la découpe car elle est trop fine. Pour les découpes plus anciennes de type HC49, la fréquence fondamentale la plus élevée pouvant être produite dans la pratique est d'environ 40 MHz. Toutefois, pour arriver à des fréquences plus élevées, plusieurs techniques peuvent être utilisées.

Tout d'abord, le cristal peut être utilisé à une « harmonique » de sa fréquence fondamentale. Comme dans tous les systèmes de résonance, il existe des résonances harmoniques à des multiples impairs du mode fondamental. En ajoutant un filtre adapté au circuit d'oscillateur, qui peut supprimer l'oscillation fondamentale, il est possible d'arriver à un mode de fonctionnement à une fréquence plus élevée. Chaque mode successif présente un gain inférieur, ce qui renforce la sensibilité de la conception du circuit, et, selon la complexité du filtre, cela ajoute un coût de conception et de nombre

de composants. Les HC49 d'IQD peuvent aller jusqu'à la 9^{ème} harmonique et à des fréquences maximales de 270 MHz.

Un circuit « multiplicateur » peut également être utilisé pour créer un circuit haute fréquence à partir d'un cristal basse fréquence. Le problème est qu'ils ont une consommation d'énergie plus élevée, ont une période de démarrage plus longue et peuvent avoir des effets négatifs sur le bruit du circuit.

La plupart des oscillateurs à cristaux standard sont munis de circuits optimisés utilisant les techniques susmentionnées pour arriver à des fréquences de sortie maximales de 800 MHz. Pour les hautes fréquences dans lesquelles le bruit est critique, nous pouvons toutefois utiliser une découpe de quartz appelée « mesa inversé ». Cette conception est parfois également appelée « découpe haute fréquence fondamentale » (HFF). Cette technique utilise une découpe de quartz dont la portion centrale a été décapée pour arriver à l'épaisseur nécessaire à une oscillation à haute fréquence, tandis que la périphérie extérieure est plus épaisse pour soutenir le cristal.



Figure 5 — Cristal « mesa inversé »

Même si seule une petite partie du cristal mesa est décapée, ce processus est complexe et ne peut être fait que pour un seul cristal à la fois. La technique « mesa inversé » est une excellente solution au problème des cristaux haute fréquence de qualité, tant que les coûts ne sont pas un facteur critique.

Par exemple, la série IQXO-660 d'IQD utilise un cristal HFF pour générer les hautes fréquences demandées.

Le secteur de l'électronique demandant des composants toujours plus petits, cela a entraîné l'automatisation du processus de fabrication. Les découpes de cristal étant désormais plus petites, elles sont également devenues plus fines tout en conservant les proportions appropriées en termes de dimensions.

Il est donc désormais possible d'obtenir des modes de fréquence fondamentaux plus élevés. Par exemple, la série IQXC-26 d'IQD (dans des boîtiers de 1,6 x 1,2 mm) est disponible en mode fondamental à des fréquences maximales de 80 MHz.

Après la fabrication d'une découpe de cristal, la prochaine phase consiste à plaquer les deux côtés du cristal pour créer les électrodes qui assurent les branchements électriques externes, avant de monter le cristal dans un boîtier adapté.

Le plaquage se fait en montant le cristal derrière un masque, en le plaçant dans une cloche à vide et en le vaporisant d'argent ou d'or afin de revêtir la surface exposée. Le choix du métal dépend des exigences de coûts et de vieillissement. Cela peut être illustré par la série CFPX-181 d'IQD qui utilise un plaquage en or pour garantir un vieillissement à ± 1 ppm au cours de la première année, contrairement à la série CFPX-218 qui offre une garantie de vieillissement de ± 3 ppm au cours de la première année.

Le cristal plaqué doit ensuite être monté et collé à l'intérieur d'un support. Ce processus utilisait traditionnellement de l'époxy argent assurant un bon ancrage mécanique et une bonne conductivité électrique. Avec l'introduction des boîtiers CMS céramiques, ce processus s'est automatisé et l'époxy est devenu un adhésif à base de silicium. Cela présente l'avantage suivant : le collage est légèrement moins rigide, ce qui augmente la capacité de résistance aux chocs et aux vibrations. Cela réduit également la possibilité de contraintes de montage dans la découpe, qui pourraient causer des variations de fréquence indésirables et augmenter l'effet du vieillissement.



Figure 6 — Montage CMS

Une fois le cristal monté dans le support, il peut être réglé à la fréquence finale. Il y a peu, cela se faisait en mesurant la fréquence de résonance tout en déposant une tache métallique sur l'électrode du cristal. Ce processus était similaire au processus de plaquage et utilisait un système sous vide et un masque.

Avec la demande croissante en composants plus petits, cette technique a atteint ses limites. La taille du masque était devenue si petite pour les boîtiers de taille inférieure à 5 x 3,2 mm que le dépôt ne pouvait être contrôlé de manière satisfaisante.

Le dernier processus utilise un faisceau d'ions tiré à travers un masque et utilisé pour appauvrir la surface métallique, ce qui réduit la masse et augmente la fréquence du cristal. Ce procédé a permis d'obtenir des cristaux de petite taille, comme ceux de la série IQXO-26 d'IQD à 1,6 x 2 mm.

Une fois le cristal terminé, il faut sceller l'unité. Pour les boîtiers CMS céramiques, il existe deux technologies majeures : le sertissage et la soudure au verre. Ces deux types donnent la fermeture hermétique nécessaire pour créer une atmosphère inerte interne et prévenir un vieillissement excessif. La soudure au verre est moins onéreuse, mais nécessite de passer le composant dans un processus de refusion à une température supérieure à 350°C, ce qui a des effets sur la structure interne du dispositif. Le sertissage est un processus plus contrôlé, qui peut être réalisé dans une enceinte close avec une atmosphère d'azote pur, ou, pour les nouveaux composants plus petits, cet équipement a été modifié pour supprimer la pièce finie sous vide.

Lors de la quête pour des composants toujours plus petits, de nombreux obstacles ont été surmontés, comme l'utilisation de la céramique comme base du dispositif. Ces unités de base sont construites à partir de couches céramiques collées les unes aux autres, et les parois du boîtier sont les parties les plus délicates. Dans un boîtier de 7 x 5 mm, l'épaisseur des parois est de 1,4 mm, mais ce procédé ne suffit pas pour permettre une utilisation dans un dispositif de 2,5 x 2 mm.

Pour surmonter ce problème, les fabricants d'unités de base ont dû développer de nouveaux composés céramiques pouvant être fabriqués et utilisés sans se casser aux dimensions les plus fines. Les nouveaux composants présentent une résistance à la flexion 1,5 fois supérieure à celle des composants antérieurs (620 MPa contre 400 MPa), ce qui permet la fabrication de la nouvelle génération de cristaux et d'oscillateurs de petite taille, à des dimensions inférieures ou égales à 2 x 1,5 mm. Ce même procédé perfectionné est utilisé pour obtenir des boîtiers plus fins pouvant, par exemple, être utilisés dans des cartes PCMCIA.

www.iqdfrequencyproducts.com