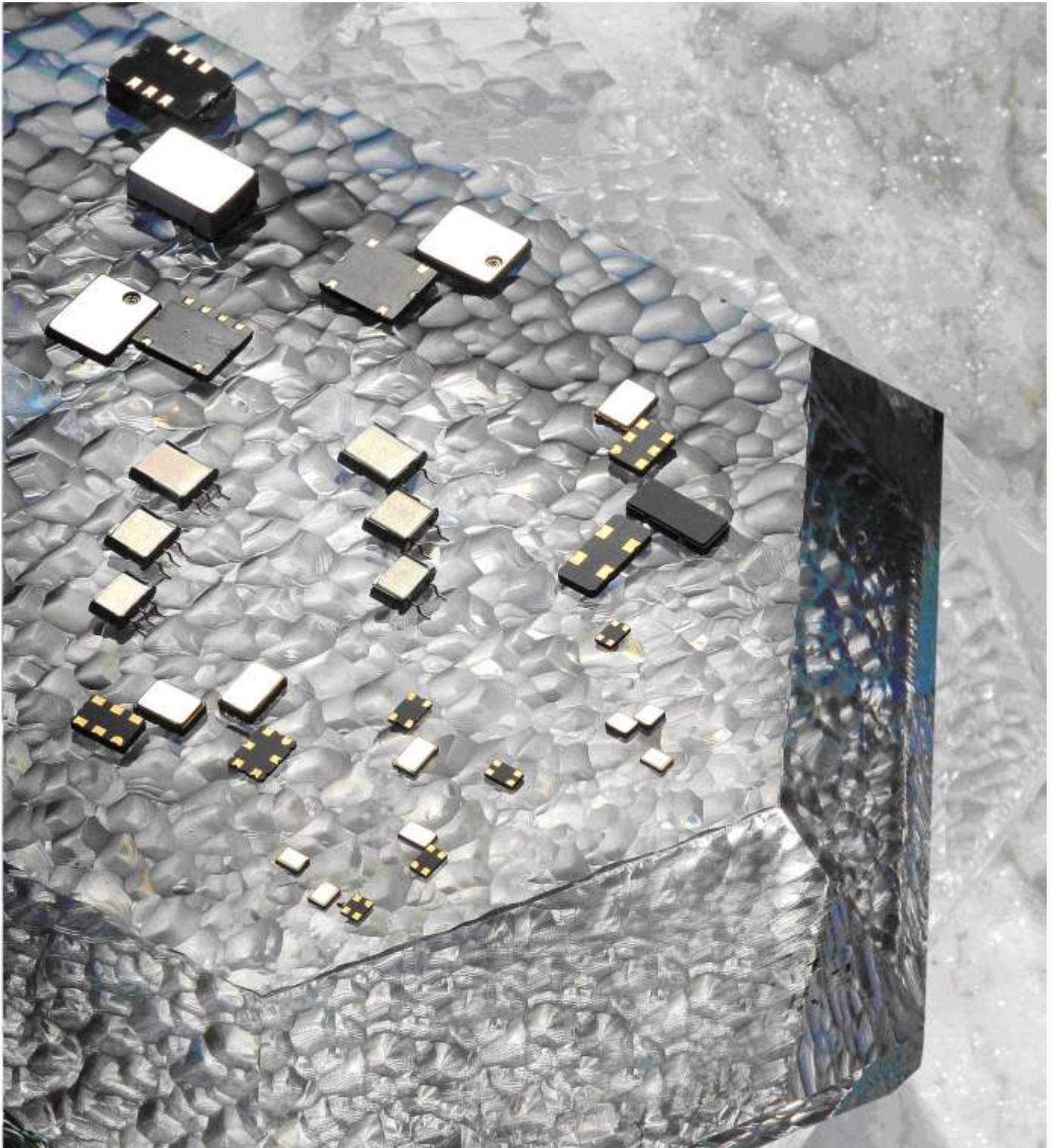
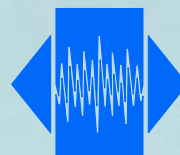




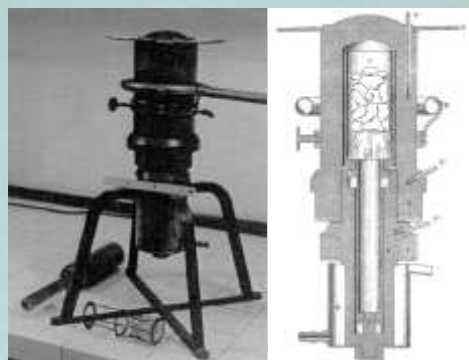
Vom Naturquarz zur Präzisions-Zeitmessung



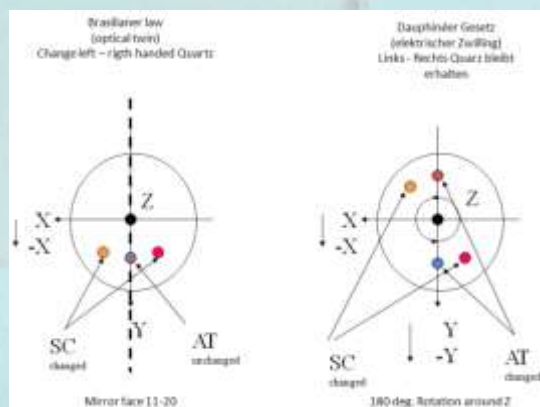
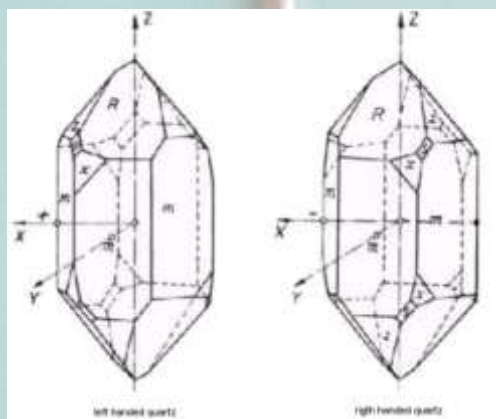


Vom Naturquarz zur Präzisions-Zeitmessung

Der Piezoelektrische Effekt wurde von den Curie Brüdern im Jahre 1880 beschrieben. Das war die grundlegende Erkenntnis zum Start eines neuen Zeitalters für die Zeitmessung und Frequenzkontrolle.



Naturquarz war das Rohmaterial für die Produktion von Quarzschwingern bis in die 1960er Jahre. Giorgio Spezia entdeckte schon 1900 an der Universität von Turin in Italien die hydrothermale Züchtung von Quarz. Sei Autoklave war klein und Gas beheizt. Er produzierte die ersten brauchbaren synthetischen Quarzkristalle. Die Züchtung von Quarz kann nicht aus der Schmelze erfolgen. Quarz hat einen Inversionspunkt bei 573°C. Dort ändert sich die Struktur vom Niedertemperatur alpha Quarz (piezoelektrisch) in den Hochtemperatur beta Quarz (nicht mehr piezoelektrisch). Beim Übergang von hohen zu niedrigen Temperaturen wechselt der Kristall zurück zur alpha Quarz Struktur. Alpha Quarz existiert in zwei kristallographischen Zuständen, rechts- und linksdrehende Kristallen. Das erzeugt Zwillinge, was bedeutet, dass ein Teil des Kristalls links drehend und ein anderer Teil rechts drehend sein kann. Dadurch ergibt sich ein völlig verändertes Verhalten der Endprodukte. Solche Kristalle sind für die Quazindustrie unbrauchbar.



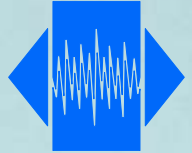
Um neue Kristalle zu züchten, wird ein Kristallkeim von sehr guter Qualität benötigt. Die Qualität des Kristallkeims bestimmt die Qualität des gewachsenen Kristalls. Die Kristallkeime der ersten Generation werden meist aus natürlichem Quarzkristallen gewonnen. D.h. eine kleine Anzahl von Naturquarzen wird für den Produktionsprozess benötigt.



Heutige Autoklaven haben große Abmessungen, bis zu mehreren 10 Meter hoch und einem Durchmesser von mehreren Metern. Die inneren Bedingungen sind seit über 100 Jahren dieselben: ein Druck um 2000 bar und Temperaturen um die 370°C. Elektrische Heizer sorgen für die richtige Temperatur. Die Wachstumszeit schwankt zwischen mehreren Wochen und einem Jahr, abhängig von der Grösse und



Qualität des benötigten Endprodukts. Der Stromverbrauch ist der Haupt-Kostenfaktor für den Materialpreis.



Synthetische Quarzkristalle haben gegenüber Naturquarz viele Vorteile. Man produziert nur rechts-drehenden Quarz.



So sind alle kristallographischen Richtungen und die Richtungen für die Schnitte gegeben. Es gibt weniger Einschlüsse, keine Zwillinge und einen garantierten Güte-Wert. Bei einem Naturquarz, der wie ein Ei aussieht, müssen die Hauptachsen mit optischen Methoden erst gefunden werden. Danach müssen die Einschlüsse gefunden und markiert werden. Anschliessend folgt das Trennen und Platten schneiden mit Röntgenkontrolle. Ausserdem muss die Kontrolle aus Zwillinge mittels Ätz-Bildern erfolgen. Dazu braucht man viel Zeit. Die Ausbeute ist nicht reproduzierbar.



Ganz anders bei synthetischen Kristallen. Die Ausbeute ist nicht mehr vom Eigangsmaterial abhängig, sondern von den Prozessen. Heutige Präzisionsquarze mit doppelt-gedrehtem Schnitt erfordern sehr enge Toleranzen. Hohe Genauigkeit in allen Schneid- und Läpp-Prozessen ist nötig und erhöht auch die Anforderungen an die Messtechnik. Winkeltoleranzen im Bereich von 0,002 deg in zwei Drehrichtungen und Frequenzen mit Genauigkeit im ppb Bereich müssen im Massenproduktionsprozess gemessen werden. Das ist anspruchsvoller als in der Halbleiter-Industrie. Für Weltraum Anwendungen muss das Material einen zusätzlichen Prozess durchlaufen, das Sweeping. Es handelt sich hierbei um eine Elektro-Diffusion bei hohen Temperaturen, mit der ungewünschte Ionen aus dem Material entfernt werden. Dieser Prozess dauert mehrere Wochen und ist sehr schwierig. Er ist nötig zum Reduzieren des Einflusses von erhöhter Strahlung auf die Frequenz des Schwingquarzes.

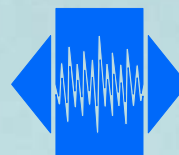
Die erste Anwendung von Schwingquarzen ohne Oszillator war der sogenannte Leuchtquarz. Dieser Schwingquarz wurde zur Kontrolle der großen LC stabilisierten Radiostationen gebraucht. Der Schwingquarz befand sich in einem gasgefüllten Gehäuse. Bei Resonanz fließt ein elektrischer Strom durch den Quarz. Dadurch startet eine Gasentladung und das Gas leuchtet auf.

Die breite Anwendung der Quarze begann mit der Entwicklung des elektronischen Oszillators in den 1920er Jahren. Von da an war es möglich, die mechanische Schwingung mit dem elektrischen Feld zu stimulieren. Die Stabilität der mechanischen Schwingung konnte nun genutzt werden. Die ersten und die meisten heute gebräuchlichen Resonatoren sind Volumenschwinger („bulk acoustic wave resonators“ BAW). Später nutzte man zusätzlich die Oberflächenwellen („surface acoustic wave resonators“ SAW) aus. SAW's werden meist für Filter Applikationen eingesetzt.



Eine wichtige Triebfeder für die Entwicklung der Schwingquarzproduktion war der Zweite Weltkrieg und der darauffolgende Kalte Krieg. Schwingquarze wurden für die Kommunikationssysteme und die Radarsysteme benötigt. Später wurde das „Global Positioning System“ aufgebaut. Eine präzise Zeitmessung war dafür Voraussetzung. Einer der ersten massenproduzierten Schwingquarze war der sogenannte „Channel Crystal“ für Kommunikationssysteme. Er hatte Standard Abmessungen und wurde von verschiedenen Firmen für dieselbe Anwendung produziert.

Elektronische Uhren mit Schwingquarzen wurden zuerst für astronomische Zwecke genutzt. Die ersten dieser Uhren füllten einen Raum. Mit der Entwicklung von integrierten Schaltungen mussten die Uhrenquarze in eine Armbanduhr passen. Die Produktion der Miniatur-Stimmgabelquarze („miniature tuning forks“) begann.



Die Schwingquarzabmessungen sind heute standardisiert und haben minimale Größen von 2x2mm und eine Höhe von weniger als 1mm erreicht. Solche sehr kleinen Quarze können nicht dieselben Spezifikationen wie die größeren Quarze erfüllen. Die Anwendung bestimmt die Größe des Schwingquarzes. BAW Resonatoren decken den Bereich

der niedrigen Frequenzen (speziell Uhrenquarze) bis zu hohen Frequenzen von mehreren 100 MHz ab (sogar über 1GHz). In der modernen Welt werden Schwingquarze in vielen Anwendungen eingesetzt. Beginnend mit der Armbanduhr über Handys, Computer, TV, Waschmaschinen, Autos, Flugzeuge zu den Satelliten wird mindestens ein Schwingquarz in jedes Gerät eingebaut. Heutige Hochpräzisionsuhren benötigen andere Typen von Taktgebern. Es handelt sich nicht mehr um mechanische Schwinger, sondern um Zustandsübergänge auf atomarer Basis, wie bei Rubidium Normalen. Diese haben eine bessere Langzeit-Stabilität. Aber sie erreichen nicht die Kurzzeit-Stabilität (phase noise) eines Hochpräzisions-Quarzoszillators.



Kombinationen von Schwingquarzen mit Einzel- oder Mehrfachelektroden werden als Frequenz Filter mit hohen Gütefaktoren eingesetzt. Sie werden vor allem in Telekommunikationssystemen für die Trennung von Frequenz-Kanälen genutzt.

Ein anderer Anwendungsbereich sind die Sensoren. Spezielle Resonatordesigns erlauben die Anwendung als Temperatur-Sensor, Masse-Sensor, Druck-Sensor etc. Alle diese Parameter sind einfach mit einer Frequenz Änderung des Schwingers verknüpft. Eine sehr übliche Anwendung ist der Schichtdickensensor in Vakuumbeschichtungsanlagen. Indem man den Effekt der Frequenzänderung durch das Aufbringen von Masse nutzt, wird eine sehr einfache Messung der Schichtdicke möglich. Abhängig von der Grundton Frequenz des Schwingquarzes kann die Masseempfindlichkeit Werte im Bereich der atomischen Schichten erreichen.

Schwingquarzen begegnen uns heute überall im Alltag, aber wir nehmen sie nicht wahr. Nur wenn einer davon ausfällt, funktionieren unser Handy, die Waschmaschine, das Auto nicht mehr. Ohne Schwingquarze würde die weltweite elektronische Kommunikation zusammenbrechen. Wenn Sie solch einen kleinen Schwingquarz sehen, denken Sie daran, wie viel Technologie, Messgenauigkeit und Arbeit für die Produktion notwendig sind. Februar 2012



Diplom-Physiker

Eberhard Seydel

Design and Technology Piezoelectric Resonators

Dankmarsteig 78, D-12524 Berlin, Germany

Telefon:+49-30-70761056

Mobil : +49-16093366819

Fax: +49-30-67989287

E-Mail: es.quartz@t-online.de