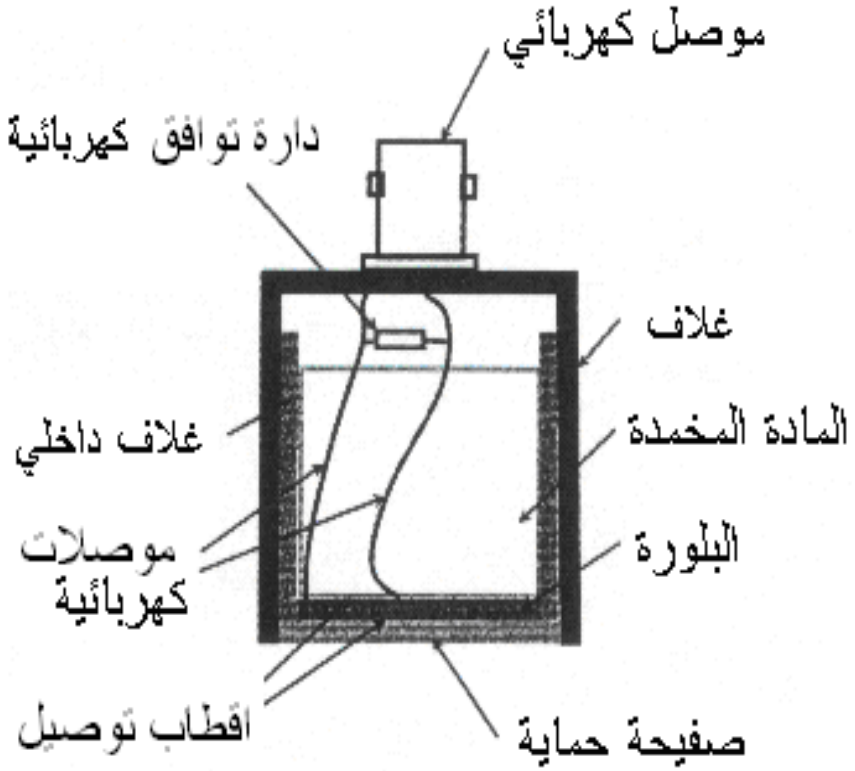
الفصل الثاني: توليد الأمواج فوق الصوتية

2-1 أنواع ومسابر الأمواج فوق الصوتية وبنيتها:

تتألف المسابر بأنواعها المختلفة بشكلٍ عام من غلافٍ خارجيٍ، ويضم في داخله المادة المخمدة للاهتزاز التي ترتكز عليها البلورة (BACKING MATERIAL)، وملف توافق (ADOPTING COIL) والتوصيلات الكهربائية.

يزود المسبار بصفيحة لحماية الوجه الأمامي للبلورة في المسابر العمودية أحادية العنصر، وطبقة من الزجاج البلاستيكي (PLEXIGLASS) في المسابر الزاوية والثنائية (تفيد هذه الطبقة في عدم إظهار نبضة الإرسال على الانقطاعات إضافة إلى حماية البلورة (CRYSTAL)، كما هو مبين في الشكل رقم (2 – 1).



الشكل (2 – 1): مخطط بنية المسبار العامودي

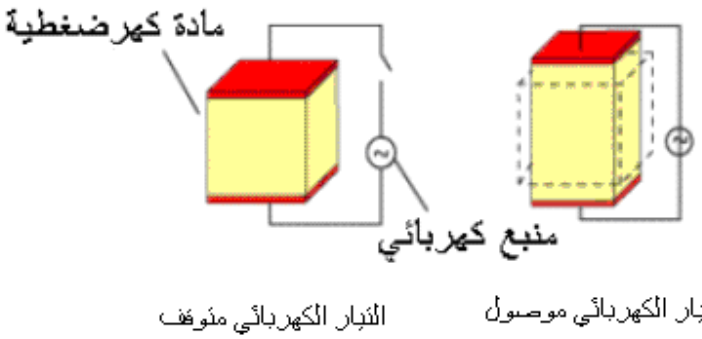
والبلورة هي العنصر الموجود في المسبار والتي تولد الاهتزاز، ويعتمد مبدأ عملها على الخاصة الكهرضغطية (piezoelectric).

2-2 الخاصة الكهرضغطية:

يتم توليد الاهتزازات من المادة الكهرضغطية الموضوعة على تماس مع الأقطاب بسبب تغير أبعادها عند تطبيق تيار كهربائي على طرفيها.

وتولد المواد الكهرضغطية أيضاً إشارة كهربائية بين الأقطاب عندما تهتز، وبهذه الطريقة تعمل هذه المواد في الوقت نفسه كمستقبل للصوت ومرسل له.

ويبين الشكل رقم (2 – 2) تغير أبعاد البلورة عند تطبيق جهد كهربائي عليها:



الشكل (2 – 2): التمدد والتقلص الحاصل على بلورة كهرضغطية عند تطبيق فرق كمون كهربائي على طرفيها

تستخدم في صناعة البلورات المواد التالية:

1- الكوارتز (QUARTZ)، وهي مواد كهرضغطية طبيعية.

2- ملح كبريتات الليثيوم (LITHIUM SULPHATE).

3- السيراميك المستقطب (POLARIZED CERAMICS).

ونذكر من أكثر أنواع السيراميك شيوعاً:

a. تيتانات الباريوم (BARIUM TITANATE).
b. ميتانيوبيت الرصاص (LEAD METANIOBATE).
c. زيركونات الرصاص (LEAD ZIRCONATE).
d. تيتانات زيركونات الرصاص (LEAD ZIRCONATE TITANATE).
e. تيتانات البيزموث (BISMUTH TITANATE).
f. تيتانات الرصاص (LEAD TITANATE).

يستخدم في صناعة غالبية مسابر الاختبار بالأمواج فوق الصوتية المواد الكهرضغطية الصنعية عوضاً عن الكوارتز الذي تم الاستغناء عنه في كثير من التطبيقات نظراً لانخفاض كفاءة خواصه الصوتية ومعاناته من تحول نمط الاهتزاز (Mode Conversion) وتطلب عمله تطبيق فرق جهد عالٍ عند ترددات منخفضة إلا أنه لم يزل يستخدم في بعض التطبيقات التي تتطلب بلورات ذات ثبات كيميائي وحراري وكهربائي.

ويظهر الجدول رقم (2 – 1) بعض الخواص لثلاث مواد كهرضغطية تستخدم في مسابر الاختبار بالأمواج فوق الصوتية:

الخصائص	*تيتانات الباريوم* **(سيراميك مستقطب)**	*كبريتات الليثيوم*	*الكوارتز الطبيعي*
الرمز الكيميائي	$BaTiO_3$	$LiSO_4$	SiO_2
الممانعة الصوتية $[10^6\ Kg/m^2.\ sec]$	**35**	**11.2**	**15.3**
الكثافة $[10^3\ kg/m^3]$	**5.7**	**2.06**	**2.65**
السرعة (m/s)	**4400**	**4720**	**5760**
درجة الحرارة الحرجة [c]	**115 إلى 150**	**75**	**576**
القدرة على الإرسال (d) $(10^{-12}\ m/v)$	**ممتاز 190**	**وسط 15**	**ضعيف 2.3**
القدرة على الاستقبال (g) $(10^{-3}\ v/m)$	**وسط 11**	**ممتاز 165**	**جيد 57**

الجدول (2 – 1): الخصائص الفيزيائية والصوتية لبعض مواد البلورات الكهرضغطية

a– المعامل الكهرضغطي (d) يشير نسبياً إلى فاعلية الإرسال من المادة الكهرضغطية فمثلاً: يُنتج الكوارتز تغيرات بالسماكة على شكل اهتزازات تقدر بـ [m/volt] 2.3×10^{-12} من الإشارة المحرضة مقارنةً مع تيتانات الباريوم التي تقدر اهتزازاتها بـ [m/volt] 190×10^{-12} من الإشارة المحرضة، وهذا

يعني أن الموجة فوق الصوتية المتولدة ستتمتع بطاقة أكبر بكثير عند استخدام بلورة تيتانات الباريوم من بلورة الكوارتز وذلك لإشارة الفولط نفسها.

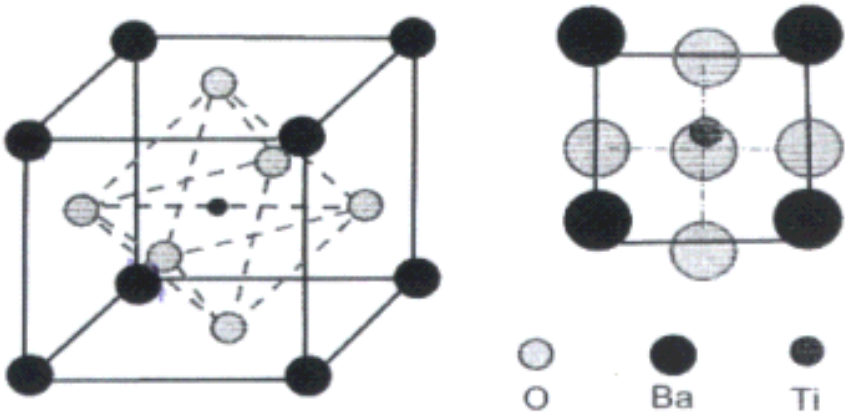
b- المعامل الكهرضغطي (g) هو المؤشر النسبي لفاعلية الاستقبال للمادة الكهرضغطية، ومن الجدول نرى أن كبريتات الليثيوم Lithium Sulphate سوف يولد 165×10^{-3} volts/m من اهتزاز البلورة أكثر من تيتانات الباريوم الذي يولد 11×10^{-3} volts/m من الاهتزاز.

ومن الجدول أيضاً نرى أن كبريتات الليثيوم Lithium Sulphate ذات فاعلية عند استقبال الأمواج فوق الصوتية أكثر من تيتانات الباريوم.

وعلى الرغم من أن الكوارتز وكبريتات الليثيوم Lithium Sulphate غير مستخدمين في المجال الصناعي لتوليد الأمواج فوق الصوتية، لأن الكوارتز مرسل ضعيف نسبياً ومستقبل متوسط للأمواج فوق الصوتية؛ أما مركب كبريتات الليثيوم Lithium Sulphate فهو يستخدم في الاختبارات التي تتم عند درجة حرارة منخفضة جداً، ويتميز بأنه ذو قابلية عالية للانحلال في الماء ولذلك يجب أن يكون مختوماً (أو مغلقاً من جميع الأطراف)، وهو رديء عند استخدامه كمرسل، وجيد عند استخدامه كمستقبل للأمواج فوق صوتية.

السيراميك المستقطب مرسل جيد للأمواج فوق الصوتية ومستقبل رديء وله درجات حرارة حرجة منخفضة بشكل معتدل وله ميل للتقادم.

إن معظم البلورات المستخدمة حالياً اصطناعية، ومن المواد المصنوعة يُوجد السيراميك المستقطب، ومن أنواع السيراميك المستقطب تيتانات الباريوم (Barium titanate)، الذي يتكون تركيبه الجزيئي من ذرة باريوم واحدة و6 ذرات أوكسجين وذرة واحدة تيتانيوم كما هو مبين في الشكل رقم (2 – 3).



الشكل (2 – 3): التركيب الجزيئي لتيتانات الباريوم

يرتبط تردد المسبار بنوع المادة الكهرضغطية وثخانتها وبما أن التردد هو أحد أهم المتغيرات الحرجة فإن اختيار المسبار المناسب هام جداً في تحقيق النتائج المرجوة.

يستخدم في حساب ثخانة البلورة المعادلات التالية:

$$T = T_1/f$$

$$C = C_1 \times f \times A$$

T: ثخانة البلورة (mm)

T_1: ثخانة البلورة لـ 1MHZ بـ (mm).

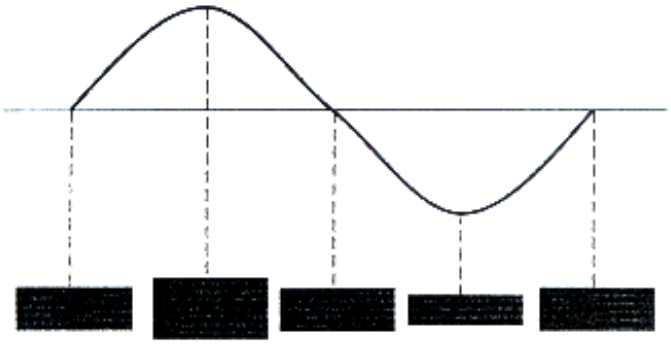
f: التردد بـ (MHz).

C: السعة بـ (بيكوفاراد) (1 بيكو فاراد = 10^{-12} فاراد).

C_1: سعة وحدة المساحة للمادة بـ (البيكو فاراد/mm^2).

A: مساحة البلورة بـ (mm^2).

إذا أخذنا مقطعاً عرضياً للبلورة لدراسة التغير الحاصل في شكل البلورة فإنه سينتج لدينا شكلان مختلفان من التمدد والانضغاط الحاصل كما هو مبين في الشكل رقم (2 – 4)، عندما يكون هذا التمدد والانضغاط من خلال سماكة شرائح البلورة والذي نقول عنه المقطع (x) ويتولد نتيجة لهذا التمدد والانضغاط أمواج طولية.



الشكل (2 – 4): التمدد والانضغاط الحاصل لبلورة كهرضغطية عند تعريضها لتيار متناوب جيبي

وإذا كان التمدد والانضغاط في اتجاه البعد الرئيسي من شرائح البلورة وفق المقطع (y) فيتم وفق هذا التمدد والانضغاط تولد أمواج عرضية.

تقتصر معظم الاستخدامات على البلورة ذات المقطع x والتي يتم تطبيقها على الجسم الصلب من خلال سائل الربط الفاصل لإمرار الأمواج الطولية أما إذا كانت الأمواج العرضية هي المطلوبة في

الاختبار فمن الممكن توليدها من الأمواج الطولية بإضافة حافة من البلاستيك تجبر الأمواج على أن تتكسر مولدة أمواج قص في الجسم المختبر.

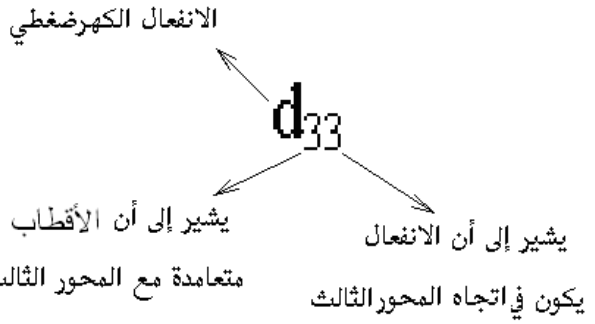
تصمم مسابر الاختبار بالأمواج فوق الصوتية لتعمل على تردد الطنين الميكانيكي للبلورة.

تعدُّ أنواع السيراميك غير المستقطب متجانسةً في الخواص [Isotropic] أي أنها لا تتمتع بخواص اتجاهية، ويتم استقطابها لتصبح غير متجانسة تتوجه باتجاه الحقل المستقطب.

يكون اتجاه الحقل المستقطب بالنسبة للمحاور X و Y و Z، وفقاً للمحور Z أو المحور (3) ويتوجه المحوران الآخران بشكلٍ اعتباطيٍ بشرط أن تكون الزوايا بين المحاور الثلاث متعامدة مع بعضها البعض.

يمكن أن تحدد الخواص الهامة للمادة الكهرضغطية في مصطلحات تعبر عن المسبار بدلالة المحاور الثلاث كما هو مبين في الشكل رقم (2 – 5).

مثلاً d هو ثابت الانفعال الكهرضغطي، ويدل الرمز d_{33} على ما يلي:



الشكل (2 – 5): خواص المادة الكهرضغطية بدلالة المحاور الثلاث.

من بين المزايا الفيزيائية الهامة لمسابر الاختبار بالأمواج فوق الصوتية:

d: ثابت الانفعال الكهرضغطي الذي يقاس بوحدة [m/volt] ويمثل كمية التمدد لكل فولت من السيراميك المستقطب، يقيس انفعال البلورة كمرسل للطاقة فوق الصوتية.

g: ثابت الفولط الكهرضغطي الذي يقاس بوحدة [volt/m] وهو كمية الفولط المتولد عن كمية الانضغاط من السيراميك المستقطب ،ويقيس انفعال البلورة كمستقبل للطاقة فوق الصوتية.

K^T: ثابت العازلية النسبي ويساوي إلى سماحية مادة السيراميك/سماحية الخلاء.

$$K^T = \xi^T/\xi_0$$

ξ^T: سماحية مادة السيراميك.

ξ_0: سماحية الخلاء.

ومن المواد السيراميكية المستخدمة بشكل واسع في صناعة المسابر المادتان التاليتان:

- Lead Titanate
- Lead Zirconate Titanate