

新しい赤外線吸収係数α値とマテリアルQ値の換算式

この度、日本水晶デバイス工業会材料委員会では『人工水晶の赤外線吸収係数 α 値とマテリアルQ値との関係』において、以下を日本水晶デバイス工業会の**推奨する換算式**として公開することになりました。

$$10^6/Q_{3585} = -1.010 \alpha_{3585}^2 + 5.252 \alpha_{3585} + 0.189 \quad (\text{波数 } 3585\text{cm}^{-1} \text{ を用いた場合})$$

$$10^6/Q_{3500} = -11.01 \alpha_{3500}^2 + 9.448 \alpha_{3500} + 0.026 \quad (\text{波数 } 3500\text{cm}^{-1} \text{ を用いた場合})$$

経緯

人工水晶のグレードの評価はJIS規格 JIS C 6704及びIEC規格 IEC60758 Ed.4に赤外線吸収係数で定義されております。しかし、現実的な状況として、お客様の中では慣習的にマテリアルQ値を用いる例が多くあり、α 値とマテリアルQ値の正確な換算式が必要とされておりました。現状測定技術の問題点として、

- ①高精度な α 値測定手法が求められること
- ②用いる測定波数に関わらず、安定したQ値が求められる式であること

が、必須で、その為の測定精度の向上が重要でした。この度、東北大学の櫛引淳一教授のご指導により、飛躍的な測定精度の向上と上記換算式の精査が実現いたしました。

日本水晶デバイス工業会ではお客様の利便性を考慮し、この換算式を基準式として推奨させて頂くことにしました。是非ご活用下さい。

概要

人工水晶に赤外線を照射すると特定の波長で赤外線吸収が観測されます。図1に赤外線吸収波形を示します。この吸収は主に人工水晶に含まれるOH基によるものであることがわかっております。この吸収波形から赤外線吸収を定量化したものを吸収係数 α 値と呼び、式(1)のように定義しています。

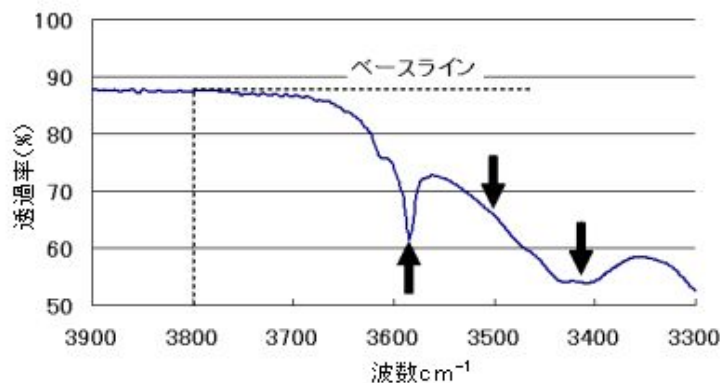


図1 人工水晶の赤外線吸収スペクトル

式(1)

$$\alpha = \frac{\log_{10} T_1 - \log_{10} T_2}{t}$$

ここに、 T_1 : 基準波数 (3800又は3979) の透過率 (cm^{-1})
 T_2 : 基準波数 (3500,3585又は3410) の透過率 (cm^{-1})
 但し、3585はピーク値を用いる
 t : 測定試料の厚さ (cm)

α 値の測定には3波数が用いられ、使用する波数及び用いる換算式は各社各様です。そこで、波数が異なっても公平に人工水晶評価ができるよう、表1のように人工水晶グレードと各波長における α 値の基準値をまとめ、測定波長の違いを補完して来ました。

表 1 人工水晶 α 値と Q 値との対応

等級	各等級の α 値の最大値			1987 年以前の Q 値 (単位: 10^6)
	3500	3585	3410	
Aa	0.026	0.015	0.075	3.8
A	0.033	0.024	0.082	3.0
B	0.045	0.050	0.100	2.4
C	0.060	0.069	0.114	1.8
D	0.080	0.100	0.145	1.4
E	0.120	0.160	0.190	1.0

(JIS規格: JIS C 6704、IEC規格: IEC60758 Ed.4より)

表1中には、参考値として人工水晶の Q 値も示されていますが、この Q 値はマテリアル Q と呼ばれ、人工水晶中を伝播する弾性波の伝播した波を損失分で割ったものになります。損失が零であれば Q 値は無限大となり、 Q 値が高い人工水晶ほど低損失の振動子になると云われて来ました。

α 値の大きい人工水晶で振動子を作成すると Q 値の低い振動子ができることが、数多くの文献*により報告されており、 α 値と Q 値の換算式も提案されてきましたが、大きなばらつきがあり統一した換算式を得るまでには、至りませんでした。

*文献[1] ~[5]

お客様が Q 値を知るためには、都度換算表を用いなければならず、又、波数の違いを考慮する煩雑さがありました。そのため人工水晶のグレードを α 値ではなく Q 値で表示してほしいという要望が高いのが実状でした。

ここで、先に述べた換算式のばらつきについて、図2に波数 3585cm^{-1} の例を示しましたが、従来の赤外線吸収測定は測定精度の限界もあり、換算線は大きくばらついております。しかも、 Q 値の高い高品質の人工水晶でばらつきが大きくなっています。近年、高品質の人工水晶が求められる状況で、高品質人工水晶の評価は重要になっています。

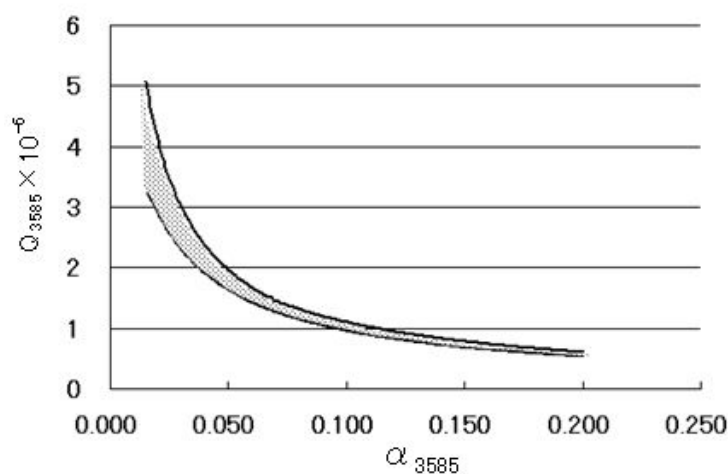


図2 各社の α 値と Q 値の換算式のばらつき(波数 3585 cm^{-1} の場合)

精度の向上と換算式の精査

今回、東北大学の櫛引淳一教授のご指導により、赤外線吸収係数の測定精度を±0.1%(従来法の約10倍)に上げる測定法を確立いたしました。又、異なる波数を用いて測定しても、この換算式を用いると同じQ値が得られることが確認されました。波数 3585cm⁻¹と3500cm⁻¹について精査されたα値とQ値の換算式を示したものが、図3です。

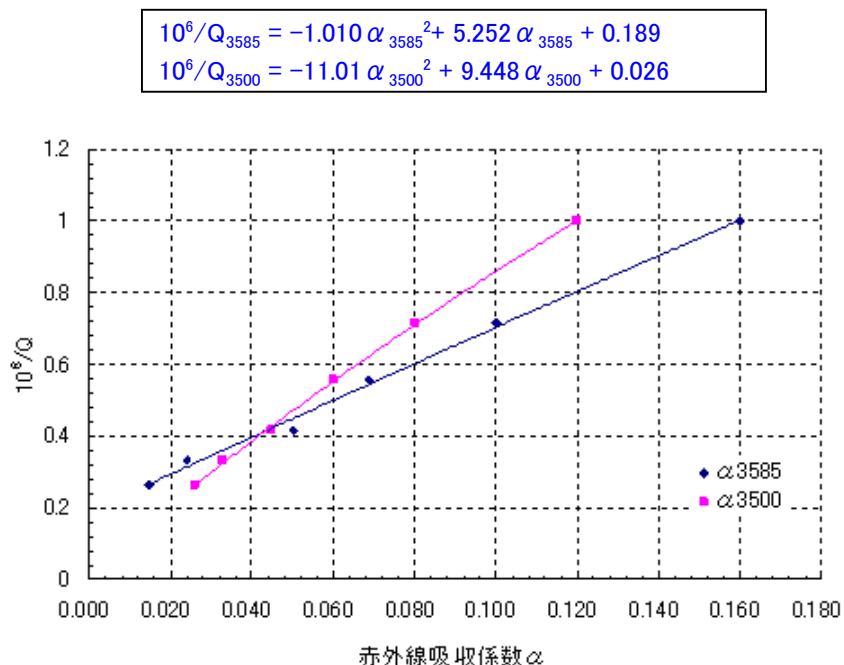


図3 各波数のα値とQ値の推奨換算式

今回、換算式精査にあたり、装置メーカーの皆様へ測定への御協力及びご助言を頂きました。改めて心から感謝申し上げます。

(日本水晶デバイス工業会 材料委員会)

参考文献

- [1] B. Sawyer, SAWYER (BALDWIN) CRYSTALS INC GATES MILLS OH. : “Recalibration of Capability Indications from Infrared Measurements on Cultured Quartz” Defense Technical Information Center, (1983)
- [2] D. M. Dodd and D. B. Fraser: “Infra-red studies of the variation of H-bonded OH in synthetic α-Quartz”, J. Phys. Chem. Solids, Vol. 26, pp.673-686, (1965).
- [3] B. Sawyer: “Q capability indications from infrared absorption measurements for Na₂CO₃ process cultured Quartz,” IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics, Vol. SU-19, No.1, pp.41-44, (1972).
- [4] N. C. Lias, E. E. Grudenski, E. D. Kolb and R. A. Laudise: “The growth of high acoustic Q Quartz at high growth rates,” J. Crystal Growth, Vol. 18, pp. 1-6, (1973).
- [5] Toyo Technical Paper: “Evaluation of synthetic Quartz by infra-red absorption,” No. 77-08, (1977).