

韓國產 天然水晶을 이용한 水晶共振子에 關한 研究

Utilization of Domestic Natural Quartz as Electric Resonators; Feasibility Study

崔世崑* 鄭基鎬* 李茂永*

(Choi, S.K. Chung, K.H. and Lee, M.Y.)

要 約

韓國產 天然水晶은 寶石裝飾用으로서는 그 品質이 이미 알려져 있으나 水晶振動子로서의 特性에 關해서는 아직 報告된 바가 없다. 本 研究는 特別 慶尙道一帶에서 採掘되고 있는 天然水晶을 採集, 選別, 加工하여 그 水晶振動子로서의 使用可能性을 實驗을 通하여 檢討한 것이다.

筆者들은 採掘現場 近處에서 採集한 原石을 特別히 考案製作된 檢査鏡을 利用하여 分析選別하였으며 X-ray를 使用하여 AT-cut로 orientation 한후 試片을 切斷 하였다. 다음 腐蝕法을 適用하여 電氣的, 光學的 雙晶狀態를 檢討하고 다시 選別 하였다. Dimensioning은 5MHz를 目標로 하였는데 研磨劑를 使用하여 5M Hz의 粗度까지 研磨하고 電極으로서 標準型的 銀膜을 蒸着하여 試片을 完成하였다.

試片에 對한 測定結果는 모든 等價數가 代表的인 輸入水晶片의 것과 對等하였으며 特別 Q는 모두 10^5 를 넘었다. 溫度特性도 AT-cut의 理論値와 大差가 없었으며 $-20^{\circ}\text{C} \sim +100^{\circ}\text{C}$ 範圍에서 最大 20PPM 以內의 偏差를 보였다.

即, 韓國產 天然水晶은 適切히 選別, 加工 한다면 優秀한 水晶振動子の 原材로서 使用할수 있음이 證明 되었다.

Abstract

Samples of domestic natural quartz were collected and screened optically and chemically, and, after weeding out portions unfit for electrical resonator, were cut into AT-cut wafers, which in turn were dimensioned, trimmed and lapped into 5MHz resonator units.

The results of measurements obtained from the specimens indicated excellent electrical characteristics of domestic natural quartz with the average Q quotient of 10^5 or higher. Temperature characteristics also showed typical AT-cut curves with the frequency deviation of 20PPM at maximum throughout the range of -20 to 100°C .

The experiment on the initial batch of samples amply indicates the excellent electrical quality of domestic natural quartz as quartz resonator units.

1. 序 論

오늘날 國內 여러곳에서 採掘되고 있는 天然水晶은 寶石장식용으로서는 優秀한 것으로 認定되고 있으나

水晶振動子로서의 使用 可能性에 關하여는 아직 알려져 있지 않다. 本 論文은 韓國產 天然水晶 中에서 特別 大邱近域產의 水晶을 採集, 加工하여 그 電氣的 特性을 實驗을 통하여 調査, 分析함으로써 水晶振動子로서의 使用可能性을 밝힌 것으로서 原石의 採取로부터 分類, 切斷, 腐蝕處理, 研磨, 周波數調整에 이르

* 正會員 嶺南大學校 工科大學
接受日字: 1976年 5月 25日

는 試片加工의 經緯와 이 試片에 대한 여러 測定結果를 報告한 것이다.

2. 原石(raw quartz)의 分類와 試片의 採取

天然水晶은 國內에서는 彥陽, 慶州, 雪嶽山, 丹陽, 俗離山等地에서 產出되고 있는데 그 採掘目的은 主로 寶石加工에 있으므로 大部分이 紫水晶이나 煙水晶이고 白水晶(無色透明한 水晶)은 比較的 稀少하다. 筆者들은 本 實驗을 爲하여 全國에서 白水晶標本을 採集하려고 計劃하였으나 白水晶採掘에 注力하지 않고 있는 現時點에서는 無意味하므로 우선 入手하기 容易한 大邱 近域產의 白水晶만을 檢討하기로 하였다. fig.1.은 採掘 現場近處의 展示場에서 容易하게 入手할 수 있었던 比較的 結晶이 良好한 原石들이다. 部分的으로 面은 損傷되어 있으나 Z, X 軸은 分明하였고 加工時에 基準面이 되는 Y面과 Z面도 確認할 수 있는 것 들인데 左로부터 各各 100g, 110g, 120g, 150g, 180g였다. 檢

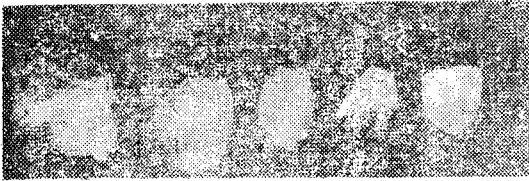


fig.1. Raw quartz collected for initial inspection

討한 것 中에는 面의 損傷은 甚하지만 相當히 良質의 大形結晶도 있었으나 切斷時의 orientation에 特別한 方法(偏光 또는 X-ray의 利用)이 必要하기 때문에 이 實驗에서는 除外하였다.

a. 光學的檢查: 試片의 切取를 爲하여 光學的檢查를 實施하였다. 우선 fig. 1의 原石들을 白紙를 背景으로 그 着色을 調査하였다. 水晶의 着色은 結晶內의 微少한 不純原素가 混入되어 있는 까닭으로 알려져 있으나 電氣의 特性은 그리 差가 없다는 報告도 있으므로⁽¹⁾ 內部를 透視할 수 있는 程度의 着色은 그대로 容認하기로 하였다. 다음, 內部의 defects를 檢討하기 爲하여

特別히 製作한 fig. 2와 같은 檢查鏡으로 結晶體의 Crack, needle, bubble, phantom等을 調査하였다. 採掘時의 衝擊에 依한 것으로 보이는 Crack가 거의 모든 原石에서 볼 수 있었는데 그 中에서 特히 한개는 Crack가 甚하여 試片採取에 困難이 느껴짐으로 除外하였다. bubble은 結晶生成過程에서 생긴 氣泡들로서 CO₂나 水滴等을 內包⁽¹⁾하고 있어서 水晶片의 電氣의 特性을 크게 損傷시킴으로 檢查鏡으로 確認될 수 있는 程度의 bubble Veil 이나 cloud等은 全部 標識을 하여 試片切斷時 除外하도록 하였다. needle은 電氣石이나 rutile等 結晶의 含有를 나타내는데⁽²⁾ 몇개의 原石에는 white needle이 發見 되었으므로 이 部分은 除外하도록 標識하였다.

b. 試片의 切取와 雙晶의 檢查: 光學的檢查를 通過

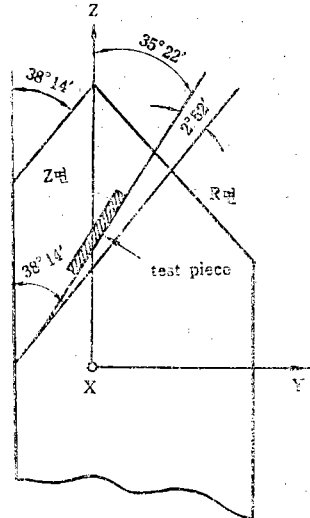


fig. 3. cutting angle of the test pieces

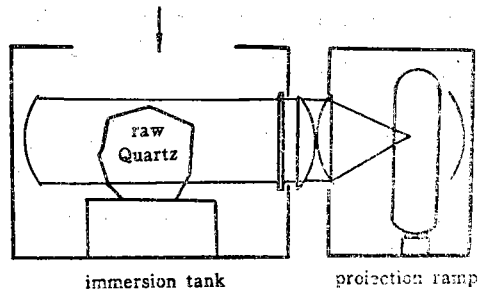


fig.2. inspectoscope

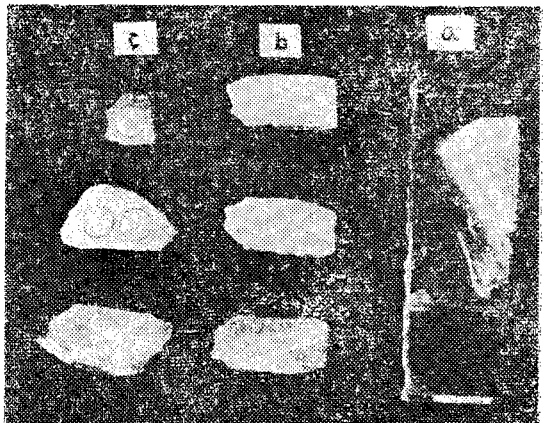


fig. 4. quartz wafers (b,c) cut from raw quartz (a).

한 原石에서 試料를 切取하기 위하여 X-ray를 이용하여 fig.3과 같이 orientation을 한 後, 各 原石에서 5~6枚의 blank를 切取하였다. 切取角度는 他材料와의 特性比較를 위하여 현재 거의 모든 通信用 水晶片에서 採擇되고 있는 AT-cut로 하였다. 두께는 加工時의 餘裕를 보아서 1.5m/m로 하였다. (fig.4) 切取한 試片은 그 雙晶(twinning)의 狀態를 調查하기 위하여 弗化암모늄(ammonium fluovide) 40% 溶液에 40時間 dip하여 腐蝕시켰다. Etching figure는 fig.5와 같이 電氣

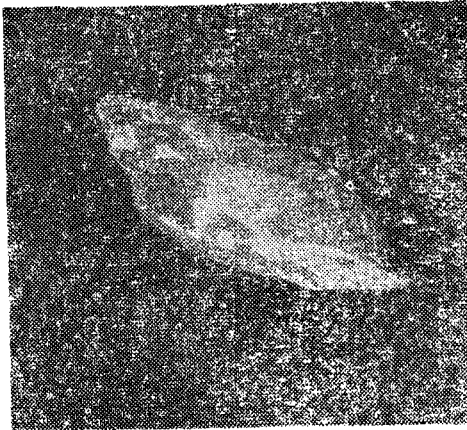


fig. 5. Figure showing on a raw wafer after etching

的雙晶(electrical twinning)이 상당한 넓이로 包含되어 있음을 알수 있었다. 電氣的雙晶은 piezo 效果가 서로 反對極性을 가졌다는 差異뿐이므로 넓은 雙晶部分은 각각 別途로 사용할 수 있는 까닭에⁽²⁾ fig.4의 C와 같이 각각 trimming 하였다.

3. 試片의 加工과 周波數調整

trimming한 試片은 5.000KHz를 目標로 하여 fig.6과 같이 dimmensioning하여 #600으로서 粗練磨한 後 #1,500 및 #3,000의 研磨劑를 使用하여 lapping한 後 表面粗度 5 μ 程度까지 研磨하였다.

또한 振動變位를 中央部에 集中시키고 끝部分의 支持損失을 적게 하기 爲해서 bevel을 Fig.6(a)와 같이 兩主面에 取하였다. 表面과 bevel部의 研磨度는 水晶片의 特性에 影響을 미치는 것으로 되어 있으므로 여기서는 他材料와의 比較를 爲해서 一般의으로 AT-cut에서 많이 쓰고 있는 5 μ 까지만 研磨하였다.

研磨處理가 끝난 段階에서 測定한 試片의 各 Parameter는 table I과 같았다. 여기서 K는 frequency thickness constant로서 $f_r = k/t$ 인데 標準值로서는 1660~1680(AT-cut)이 되어있다⁽³⁾ 電極은 fig.6 (b)와 같이 6.5m/m ϕ 의 圓形 silver 電極을 증착한 代表的

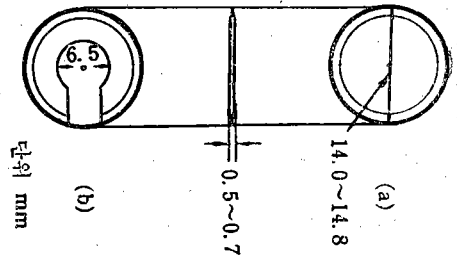


fig. 6. dimension of a test piece

인 形式을 採擇하였다. 實地의 生産工程에서는 base Pattern 위에 다시 周波數의 細密調整을 爲해 2次 Pattern을 입히는 것이 보통이나 여기서는 特性測定이 主目的이므로 base Pattern만을 증착하여 測定하기로 하였다.

table I. resonant frequency of finished test pieces (20°C)

Sample No	Physical size (mm)		f_r (KHz)	K
	thickne-ss(t)	diamet-er(d)		
# 1	.345	14.6	5,061	1746
# 2	.345	14.0	5,038	1738
# 3	.345	14.8	5,026	1734
# 4	.345	14.4	5,067	1748

fig. 7은 完成된 共振器의 外觀을 表示한 것이다.

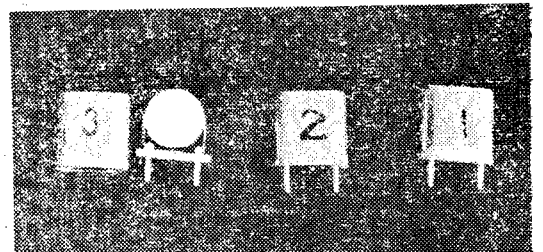


fig.7 finished test units

4. 測定

完成된 共振器의 特性定數 CI meter를 使用하여 測定한 結果는 table II와 같았다.

table II. CI meter reading (20°C)

Sample N_0	C_L		0		50PF (C_{L1})		100PF (C_{L2})	
	R_1	F_r (KHz)	R_1	F_r (50)	R_1	F_r (100)	R_1	F_r (100)
# 1	12	5,040.218	14	5,041.289	13	5,040.781		
# 2	23	5,020.487	17	5,021.390	19	5,020.953		
# 3	13	5,005.426	14	5,006.409	14	5,005.940		

여기서 C_L 는 CI meter法에서 水晶片에 直列로 넣은 負荷容量으로서 S_2 를 닫았을 때의 값이 水晶片 自體의 直列共振周波數와 그 直列等價抵抗이 된다. 水晶振動子の 等價回路는 周知된바와 같이 fig. 8 처럼 表示되는 데 그 等價容量 C_1 과 L_1 은 各各 다음 式에서 算出된다. (3)

$$C_1 = \frac{2f \Delta f_2 (C_{L1} - C_{L2})}{f_r (\Delta f_2 - \Delta f_1)} \dots (1)$$

단 $\Delta f_1 = |F_r - F_r(50)|$

$\Delta f_2 = |F_r - F_r(100)|$

$$L_1 = \frac{1}{4\pi^2 f_r^2 C_1} \dots (2)$$

또, 共振點에 있어서의 Q는

$$Q = \frac{1}{2\pi f_r C_1 R_1} \dots (3)$$

에서 算出할 수 있는데 table II의 값을 위의 式에서 代入하면 table III과 같은 等價定數를 얻을 수 있다.

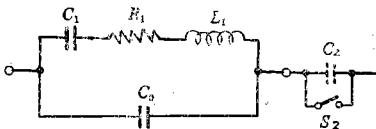


fig. 8. equivalent circuit

table III. Crystal parameters (20°C)

sample	Δf_{50} (Hz)	Δf_{100} (Hz)	R_1 (Ω)	C_1 (PF)	L_1 (H)	Q
# 1	1071	563	12	0.024	0.049	129,242
# 2	933	496	23	0.021	0.053	72,645
# 3	953	514	13	0.021	0.048	116,054

또한 異狀振動의 有無를 試驗하기 위하여 S/G에 接續하여 勵振電壓 0.2V로서 4MHz~6MHz까지 sweep하였으나 共振點의 變位나 異狀은 發見되지 않았다. 試片에 대한 溫度特性試驗은 恒溫槽를 利用하여 實施하였다. 內部的 試片까지 同溫度가 되도록 充分히 긴 時間을 두고 實施하였는데 (25分間격) 그 結果는 fig. 9와 같았다.

測定計器는 다음과 같다.

- frequency Counter: Anritsu MF-51 A
- Cimeter : RFL 459B (U.S.A.)

5. 檢 討

이 試片과의 比較를 爲하여 美製軍用 crystal(MIL規格)과 日製輸入 Crystal (JIS規格)를 위 세 가지에서와 同一한 方法으로 測定한 結果는 table IV와 같았다

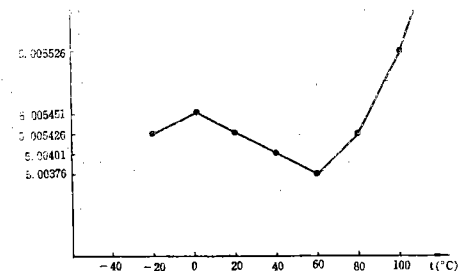
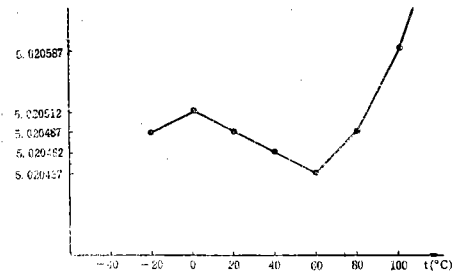
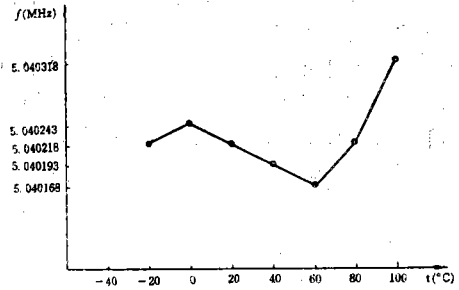


fig. 9. temperature characteristics of test pieces

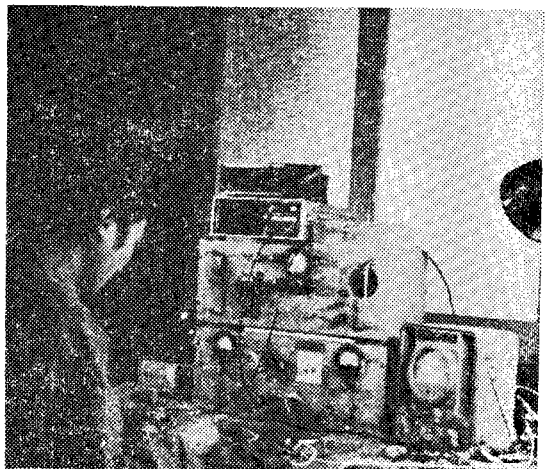


fig.10. measuring temperature characteristics

이 결과와 試片의 測定結果를 比較하면 試片 #1과 #3은 美製輸入品과 同一한 程度의 等價抵抗과 Q를 保有하고 있음을 알 수 있었다. 特히 Brazil產 天然水晶으로부터 加工된 採本 #5보다는 그 特性이 越等하다는 것이 特記할 수 있는 點이다. fig. 9의 溫度特性이 標準値와 若干의 差가 보이는데 이것은 初斷當時의 orientation의 精度가 不足했던 것으로 思料된다.

table I의 frequency-thickness constant K가 標準値보다 若干씩 큰데 이것은 水晶의 材質에 原因이 있는 것으로 보임으로 追後의 研究課題로 남아야 할 것이다. 이밖에도 BT나 CT, DT 등에 대한 特性, 또 AT-Cut에서도 角度를 若干씩 變化 시켰을 때의 特性 등도 앞으로 研究할 問題로 思料된다.

table. IV. Parameters of imported crystals

	f_r (KHz)	R (Ω)	G_1 (μf)	L_1 (H)	Q
sample #4 (美製軍用)	4,999.688	12	0.0215		123,457
sample #5 (日製輸入)	999.777	110	0.017		84,746
美製代表値 (4)	10,000.000	8	1.54×10^{-2}	1.65×10^{-2}	129,500
日製代表値 (3)	10,000.000	15	0.02	12.7×10^{-3}	53,200

6. 結 論

韓國 慶州地域에서 採掘된 白水晶은 defect가 없는 部分을 골라서 加工하는 경우 優秀한 AT-cut 水晶共振子が 될 수 있다.

共振周波數 5MHz 근방에서 等價抵抗은 10 Ω 內外, Q는 100,000을 超過하며 人工水晶을 加工한 輸入品과 同等하거나 그 以上の 性能을 가졌음이 立證되었다.

謝辭: 이 實驗을 遂行함에 있어 水晶片의 加工에 積極協助하여 주신 韓國水晶電子株式會社의 禹麟鉉 專務에게 深甚한 感謝를 드린다.

參 考 文 獻

1. G.W. Willard; Raw quartz, its imperfections and inspections, B.S.T.J. Aug. 1954 p.340.
2. G.W. Willard, use of etching technique for determining orientation and twinning in quartz crystal, B.S.T.J. June 1955 p.11.
3. 潼貞男; 人工水晶과 其應用 p.75.
4. JIS-C-6704-1975