

水晶發振子の 不要振動과 其 抑壓

禹 麟 鉉*

1. 諸 言

水晶振動子の 設計製作技術에서 重要な 問題의 하나는 不要振動의 豫見과 抑壓인 것이다.

이 問題에 關해서는 오래동안 많은 研究者에 依해서 廣範圍하게 實驗研究된바 있다. 即 1944年 Bell電話研究所의 R. A. Sykes의 Predimssioning法 以來 今日에 이르기 까지 20年 以上을 繼續해서 여러 研究 및 生産機關에서 重要的 研究課題로서 採擇되어 왔었다.

이러한 研究를 大分할때 振動片의 最適次元의 決定과 電極形成法의 두가지로 分類할 수 있다. 前者는 最近에 와서는 Shape와 Contour 技術에 까지 發展하였고 後者는 Mass Loading 概念을 發展시켜 分割電極方式, 超短波帶 및 Filter 用 共振子의 飛躍的發展의 발판이 되었다.

不要振動 (Unwanted Modes)은 A. Meissner에 依해서 1929年 X板의 共振特性을 測定하다가 主振動을 干涉한 副振動의 檢出에서 처음 觀察된 것이다. 低周波帶인 伸縮 및 面剪斷振動에서의 不要振動은 比較的 正確히 分析되고 있다. 이러한 周波數帶에서의 主振動과 不要振動과의 相互干涉은 振動片의 次元調整으로 容易하게 避할 수 있다. 그러나 短波 및 超短波帶 即 두께剪斷振動인 境遇 附着電極 및 振動片의 周邊에서 彈性波의 反射로 因해서 不要振動이 發生하며 解釋에 大端히 困難한 여러 不確定因子를 內包하게 된다.

本論文에서는 AT生을 利用한 FT-243型 및 HC-6/U型 振動子를 主對象으로 하여 不要振動의 簡單한 理論的 分析과 其의 抑壓에 關해서 綜合적으로 檢討하고자 한다.

2. 振動姿態間的 結合

AT板의 主振動 即 要求되고 있는 振動姿態는 두께剪斷振動 이다.

그러나 이 主振動에 追加해서 面剪斷, 屈曲, 伸縮 등의 副振動이 壓電氣의 으로 또는 主振動과의 彈性的結合으로 誘起되기 쉽다. AT板은 AC板과 裁斷角이 가까우나 X次元을 基底로 한 屈曲, 伸縮 및 面剪斷 등의 輪廓振動과의 結合을 避하지 못한다. 通常 이와같은 副振動을 綜括하여 所要의 主振動과 區別하기 爲해서 不要振動 (Unwanted

Modes)이라고 呼稱하고 있다.

低周波帶인 E.F板 等에서는 主振動과 副振動은 近接 안 하고 있으나 AT板, BT板에서는 大端히 近接하고 있으며 副振動의 基本振動周波數는 主振動에 比해서 낮은 故로 그의 高調波가 必然의 으로 問題視된다.

振動體에서 周波數定數(振動周波數와 振動周波數決定次元과의 乘積)는 主振動이 副振動과의 干涉結合이 없는 完全單一純粹振動下에서만 正確한 恒數를 갖게 된다. Duplex +5° 板(J板)과 같이 大端히 작은 t/l 比를 갖인 長邊 두께 屈曲振動의 基本振動은 理想에 近似한 振動條件을 갖고 있는 代表的인 振動片이다. 그러나 通常 有限輪廓次元을 갖인 振動片에서는 前述한 理想的인 條件을 期待하지 못하며 大部分의 振動片에서는 周波數決定次元(t)이 殘餘次元(輪廓 W 또는 V)에 比해서 充分히 크지 못한 까닭이다 即 一般的으로 彈性振動體에서 彈性波의 進行方向의 振動體次元에 對해서 殘餘의 次元이 가까워지면 副次振動의 高調波次數는 낮아지며 따라서 主振動에 關與할 副振動의 影響이 强하게 될 傾向을 갖고 있다. $\phi\alpha/t$ 比가 적은 AT板에서 兩主面に 高周波電壓을 印加하면 두께 方向의 電界方向에 依해서 振動片内部에는 여러 應力和 歪가 發生한다. 이때 $\phi\alpha$ 에 따라서 決定될 電極面積 ϕe 는 無限平面이 못하며 電極面積에 比較해서 電極間間隙(振動片의 두께에 近似함)이 큰 까닭에 平等電界를 形成하지 못하고 同時에 水晶은 非等方性結晶體인 故로 振動體內에 歪가 發生하면 偏極을 誘起하여 이로 因해서 壓電氣의 으로는 不適當한 振動姿態가 彈性的結合의 으로 發生할 수 있게 된다. 이러한 振動姿態間的 干涉結合은 振動體의 相互彈性係數에 左右되며 其 一部는 振動片의 截斷角(AC板, BC板)을 適當히 調整하여 없앨 수 있다.

不要振動은 主振動에 比해서 通常 40dB以下로 抑壓하는 것이 現在 널리 要求되고 있는 條件이다. 이러한 條件을 充足시키기 爲해서 現在 採擇되고 있는 方法은 振動片의 Contouring, Beveling 및 Dimenssioning을 綜括한 Shape 및 Contour이며 또 하나는 電極模의 直徑(ϕe) 및 두께 即 Mass Loading에 依한 두가지로 分類할 수 있다.

※ 不要振動의 測定法은 Mil-3098D에 依하면 아래와 같이 規定짓고 있다.

1) 環境溫度는 恒溫型일 때 規定된 恒溫槽溫度에서 그리고 非恒溫槽型일 때는 室內溫度에서

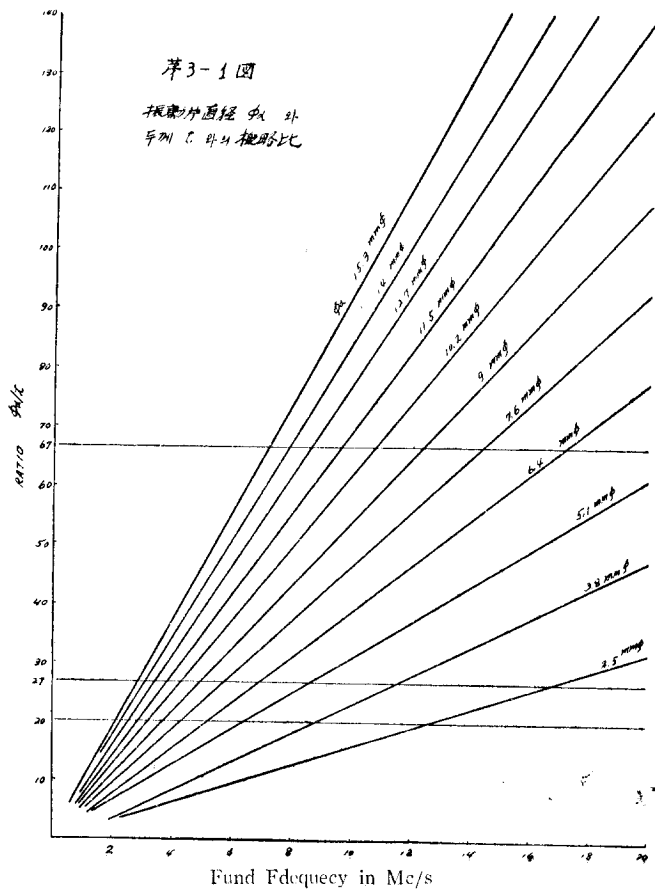
* 韓國文化放送局株式會社

- 2) 勵振度는 規定值 (2.5~5mw)에 調整하고
- 3) 許容最大等價抵抗值를 規格에 依해서 決定하여 이 等價抵抗은 試驗用發振器에 試驗하고져 할 振動子에 代置해서 挿入하고 同調回路를 上下로 變化시키서 公稱周波數의 20%가 될 同調點을 各各 記錄하고
- 4) 等價抵抗을 振動子로서 代置하여 +20% 同調點에서 徐徐히 同調回路를 -20%點까지 變化시킨다.
- 5) 이 同調回路 變化過程을 통해서 Activity Dips, 不要振動等的 有無를 檢査한다.

3. Contouring Bevelling 및 Predimensionsing

3-1. Contouring와 Bevelling

두께 剪斷振動인 AT板에서 不要振動이 主振動에 미칠 影響은 $\phi\alpha/t$ 가 60以下일때 主로 振動片自體의 Shape 및 Contour에 左右된다. HC-6/U나 FT-243/U 保持器에서 收容할 수 있는 水晶振動片의 크기에 制限이 있을 境遇 (HC-6/U는 最大 15mm ϕ , FT-243은 15mm \times 13mm) 振動周波數가 낮아짐에 따라서 $\phi\alpha/t$ 比는 critical Value 以下로 低下된다(第3-1圖 參照). 이와 같이 不可避하게 $\phi\alpha/t$ 比가 작



아야 할 때 振動片保持時의 振動勢力의 損失을 減少시키고 同時에 不要振動을 抑壓하기 爲한方法의 하나로써 後述한 Predimensionsing法에 比較해서 훨씬 廣範圍하게 使用되고 있는 것이 Contouring이다.

Contouring은 1960年 以後 美國에서 開發된 技術로서 振動勢力을 可能한限 振動片의 中心部에 集中하도록 하여 周邊部에 가까워질에 따라서 弱하게 하여 振動片의 輪廓次元의 크기와 形狀에 依해서 決定될 不要振動과의 干涉이나 結合을 避하게 하고 또한 周邊部에서의 保架로 인한 Q의 低下를 防止시킬 수 있다. 따라서 振動片의 Contour 設計이란 特定周波數에 適合한 主面의 曲面率과 振動片直徑의 組合을 決定하는데 있다. 適切히 設計製作된 Contour 振動片은 低等價抵抗, 低保架抵抗과 所要의 溫度範圍에 걸 처서 Activity Dips 即 等價抵抗의 急激한 增加와 周波數의 跳躍 現象이 없는 것을 말한다.

振動片은 斷面積의 幾何學的形狀에 따라서 便宜上 두가지로 分類하고 있다. 兩主面을 任意의 設計目的으로서 非平行으로 하거나 周邊을 斜面狀으로 加工한 一切의 形狀의 振動片을 Contoured 振動片이라고 하여 (平面研磨機에서 研磨中 不可避하게 發生할 振動片의 中高形態는 Contoured이라고 할 수 없음), 그리고 兩主面이 完全平行이고 周邊이 直角을 維持한 것을 Uncontoured 振動片이라 한다. Contoured中 廣範圍하게 利用되고 있는 것은 Plano-Convex, Double-Convex 그리고 Bevelled 이며 第1表에서 이러한 振動片의 諸元을 集錄하였다. Uncontoured 振動片의 最低許容 $\phi\alpha/t$ 比는 所要되는 品質, 溫度範圍, 保架方法, 不要振動과의 結合度에 對한 規格 等を 綜合的으로 檢討하여 決定하게 된다. CR-18/U 振動子에서 Uncontoured 振動片의 最低許容值로서 67를 많은 生産業者들이 採擇하고 있다. Plano-Convex은 工作管理가 比較的容易하며 研磨工程에서 不可避하게 發生되는 主面과 原子格子面과의 偏位를 작게 할 수 있다. 通常 $\phi\alpha/t$ 比가 25以上일 때 利用된다.

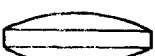
Double Convex은 工作管理가 前者에 比較해서 困難한 點이 있고 設計截斷角의 偏位를 이리키기 쉽다. AT 板의 研磨는 圓形加工과 같이 不要振動의 抑壓方法으로서 널리 利用되고 있으며 500KC~2,000KC 帶에서는 比較的 큰 曲率半徑을 갖인 Convex 形이 된다.

$\phi\alpha/t$ 가 25 以下일때 不要振動의 抑壓手段으로서 有效한 Bevel은 振動片의 周邊形

狀을 調整하여 副振動인 輪廓振動群과의 結合을 避한다. Bevel은 研磨工程 등에서 發生하기 쉬운 周邊의 Chips 를 未然에 防止할 수 있는 效果도 있다.

Bevelling에 關한 一般의인 規準値는 없으며 實地工作工程에서 經驗을 基礎로 한 錯誤試行法이 主로 使用되고 있

때 直線의인 것과 어떤 溫度에서 急變하는 두種類가 있다 大部分의 不要振動의 溫度勾配特性은 後者에 屬한다. 따라서 動作中 周圍溫度가 變化할 때 어떤 溫度에서 主振動인 두께剪斷振動의 振動周波數는 壓電氣의 結合姿態인 面剪斷振動 또는 機械的結合姿態인 屈曲振動 등의 高調波振

| 形狀 | 柔面 | | 硬面 | | 名稱 | 符號 |
|---|----|----|----|----|-----------------------|-------------------------------|
| | 中央 | 周邊 | 中央 | 周邊 | | |
|  | 平面 | 平面 | 平面 | 平面 | UNCONTOURED, PARALLEL | PP |
|  | 平面 | 球面 | 平面 | 平面 | PLANO-BEVEL | P _s P |
|  | 平面 | 球面 | 平面 | 球面 | DOUBLE-BEVEL | P _s P _s |
|  | 球面 | 球面 | 平面 | 平面 | PLANO-CONVEX | SP |
|  | 球面 | 球面 | 球面 | 球面 | DOUBLE-CONVEX | SS |

第 1 表 Countour 振動片의 名稱

다. Bevelled 角度는 振動片의 두께에 따라서 變化하며 通常 10~15度가 適量이며 Bevell量 (第 3~2圖에서 $1/2 L_2$) 은 $1/6 L_0$ 을 最大로 한다. Double Bevel 加工時 問題가 되는 것은 兩主面에 發生할 Plateau Diameter L_1 의 中心이 振動片主面 L_0 의 中心에서 偏心을 이룩하게 될 可能性이 많다. 그 最大許容值로서는 $1/10 L_0$ (圓形振動片일 境遇에는 L_0 代身에 直徑 D 를 代置하면 된다)를 定하고 있다.

3-2. Predimensioning

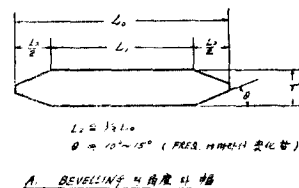
水晶振動子의 振動은 外部에서 電界印加에 依한 壓電氣效果로서 또는 機械的彈性結合에 依해서 發生시킬 수 있다. 이 境遇彈性結合은 壓電氣의으로 勵振된 主振動또는 다른 副振動과의 機械的勵振에 依한 것이다. 두께 剪斷振動인 AT板인 境遇 振動片의 두께次元方向으로 電界印加를 받고壓電氣의으로 振動하고 있을때 原則的으로는이 電界條件은 屈曲振動과 같은 副振動을 壓電氣의으로 直接勵振시키지 못하나 主振動인 두께剪斷振動에서 相互彈性係數에 依해서 機械的으로 勵振받을 수 있다. 이와 같이 機械的으로 勵振된 振動姿態를 “結合 姿態”이라고 한다.

AT板에서 일어날 結合姿態의 固有振動周波數는 主振動의 固有振動周波數에 比해서 훨씬 낮으며 發生頻도가 낮은 特殊한 振動姿態를 除外하고는 大端히 높은 周波數溫度係數를 갖고 있다.

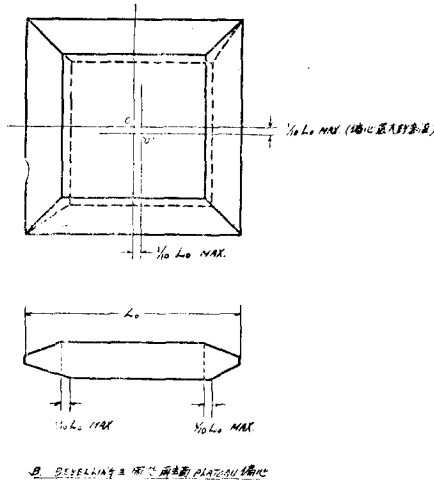
大部分의 不要振動의 溫度係數는 $-1.4 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ °乃至 $-9.1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ° 間의 負值를 갖고 있으며 分布確率은 一

$3 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ° 近傍에서 最大值를 갖고 있다. 溫度勾配를 볼 振動周波數와 彈性結合에 充分한 만큼 近接되거나 一致하게 되어 結合으로 因하여 主振動勢力의 減衰와 等價抵抗의 增加를 招來한다. 이와같은 現象을 Activity Dips 이라고 呼稱한다.

Activity Dips는 周波數의 跳躍을 隨伴하며 넓은 溫度範圍에 걸 쳐서 測定할때 그 크기와 銳鈍을 달리하는 Dips를 數個所 볼 수 있다. 이 Activity Dips는 두께剪斷振動인 AT板, BT板을 設計製作할때 重要的 問題의 하나로서 胎頭되며 設計와 工程管理의 未備는 生産될 振動子個個에 對해서 Dips의 不平衡을 檢出하게 됨으로 規格에 依한 溫度試驗을 해야 된다는 繁雜한 試驗工程이 必要하게 된다.



第3-2圖 (a) 振動片의 Bevel



第3-2圖 (b) 振動片的 Bevel

또 機器의 使用者側에서 볼때 主振動周波數가 機器를 運轉中 機器溫度의 變化, 電界勵振條件의 變化, 機械的衝擊 등으로 因해서 副振動과 結合되어 不知中에 主振動周波數가 아닌 案生振動周波數를 發生하게 된다는 公算이 짚어진다. 輪廓振動의 固有振動周波數는 振動片의 길이 및 넓이次元에 依해서 決定된다. 主振動인 두께剪斷振動과 干涉이나 結合이 일어나지 않은 輪廓振動群의 輪廓次元은 算定하는 것을 Predimensioning (最適次元의 決定) 이라고 한다. 以下 不要振動인 輪廓振動群을 Premimensioning의 觀點에서 檢討해 보자.

不要振動中에서 考慮해야 할 하나는 X次元을 基底로 한 伸縮振動이다. 基本周波數振動에서 振動片의 長邊次元은 半波長이 되며 振動節點은 幾何學的인 中心點을 連結한 線上에 있다. 이 振動은 振動片角隅를 Clamp하고 있는 FT-243型에서는 大端히 弱하다. 그러나 空氣間隙型에서는 全히 拘束없이 振動片이 自由로 振動할 수 있는 까닭에 無視하지 못한 振動姿態가 된다. 振動周波數는 AT板인 境遇

$$fNX_e = \frac{2438 \cdot N}{X(\text{mm})} \dots\dots\dots(3-1)$$

但 N는 高調波次數이며 整數
X는 X次元크기 (mm)

로서 算出할 수 있다.

예를 들면 第 3-3圖를 參照하여 Xe振動의 等6次高調波는 (X次元이 13.5mm)

$$f_6X_e = \frac{2438 \cdot N}{X(\text{mm})} = \frac{2438 \cdot 6}{13.5} = \frac{14,662}{13.5} = 1085\text{KC}$$

가 된다. 따라서 X次元이 13.5mm인 固有振動周波數 1085 KC의 AT板은 第6次高調波의 Xe과의 結合으로 因해서 室溫 또는 溫度가 變化함에 따라 等價抵抗이 大端히 높거나 또는 振動이 大端히 不安定하다는 것이다. 即 X次元을 13.5mm로 해서는 않된다는 뜻이다.

그러나 가장 중요한 不要振動으로서 考慮되어야 할 것은 Sykes에 依하면 偶數高調波의 屈曲振動이다. 固有振動周波數는 伸縮振動처럼 振動片의 X次元에 依해서 決定되며 實驗式은 다음과 같다.

$$fNXf = \frac{1338.4 \cdot N}{X(\text{mm})} \dots\dots\dots(3-2)$$

N는 偶整數

中波帶 및 中短波帶振動片에서 振動周波數(두께剪斷)와 두께次元과의 積 即 周波數定數는 一定한 數值를 維持하지 않는다. 이 定數는 AT板에서 大略 1,600KC·mm 乃至 1720KC·mm 間을 變動하고 있다. 이것을 振動片兩主面の 形狀, X次元/t 比에 따라서 左右되는 것이다. 두께次元을 一定하게 維持하면서 X次元을 조금씩 減少시키면 振動周波數는 漸次 上昇하면서 大部分의 境遇 等價抵抗은 及比例하여 적어진다. 이와같은 變化를 繼續하다. 어떤 X次元에서 急激히 發振이 停止된다. 그러나 X次元의 繼續한 減少는 發振의 蘇生과 더불어 振動周波數의 原狀復歸 — 通常 前보다 若干 높음 — 을 이끈다. 이와같이 Saw Teeth型의 X次元 對 周波數特性을 反復한다. 이 定數變化는 屈曲振動의 干涉으로 因한 것이며 周波數定數 1,680KC는 X次元/t 即 $\phi\alpha/t$ 比가 充分히 큰 振動片에서 屈曲振動의 干涉의 影響을 受받은 때의 標準值이다.

實驗結果에 依하면 不要振動으로서의 面剪斷振動의 固有振動周波數는 Z' 및 X次元 兩者의 影響을 받는다. 따라서 不要振動으로서 할 때에는 兩者 共히 考慮되어야 하며 實驗式은 아래와 같다.

$$fNX_s = \frac{2542 \cdot N}{X(\text{mm})} \dots\dots\dots(3-3)$$

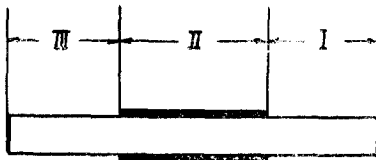
$$fNZ'_s = \frac{2540 \cdot N}{X(\text{mm})} \dots\dots\dots(3-4)$$

N는 整數(奇·偶數)

第3-3圖는 Dimensional Chart 또는 Mobe Chart 이라고 하며 前述한 實驗式에 依據 主振動을 包含한 副振動群의 共振周波數와 振動片의 輪廓크기와의 關係를 圖表化한 것이다. 이 圖表를 作成하는데 있어서 各振動間의 結合 또는 干涉으로 因한 複合振動의 影響에 對해서는 考慮하지 않았다. 이 複合振動은 理論的으로 算定하기 어렵기 때문이다. 따라서 이러한 複合振動으로 因한 誤差는 Chart를 利用 圖表計算할때 Safe Area를 可能限 좁게 策定하여 未確定因子를 避하도록 한다. Chart는 設計資料의 하나로서 必要할 때마다 여러 特定因子를 考慮하면서 隨時作成할 때 되고 또는 任意의 Dimensions와 周波數範圍를 選定하여

한 副振動의 效果的인 抑壓法이 W. Shockley, D.R. Curran, D.F. Koneval 等에 依해서 1963年以來 實驗研究되고 있다. 두께剪斷振動片에서 板面에 沿해서 傳播되는 波動은 遮斷周波數가 있으며 그 周波數以下에서는 振動勢力이 距離와 더불어 指數的으로 減衰한다. 電極膜두께를 두껍게 하여 (電極下의) 固有振動周波數가 遮斷周波數以下가 되도록 調節하면 振動勢力은 電極膜部分에만 集中되고 振動片의 輪廓의 影響이나 이에 基因한 副振動은 작아진다. 第4—2圖에서 振動片主面의 一部에 電極을 蒸着시키면 그 電極重量 即 Mass Loading으로 因해서 其部分의 基本振動周波數는 電極附着以前의 振動周波數보다 낮아진다. 兩者의 中間의 周波數에 있어서는 領域 I 및 III가 遮斷周波數以下가 되기 때문에 領域 II에서 이러한 振動勢力은 外部에 傳播되지 않고 Trapping된다. 即 領域 I 및 III에서는 振動勢力이 指數函數的으로 減衰되기 때문에 振動片兩端面의 影響은 거의 받지 않는다. 現在 이 理論과 技術은 主로 Filter用 共振子의 設計製作分野에 應用되고 있다.

不要振動의 抑壓을 爲하여 電極膜과 電界印加를 依한保架用 Spring間을 連結한 TAB膜의 크기와 相對的配置 그리고 銀點 Spot를 主面의 適當한 場所에 添加하는 方法이 研究되고 있다.

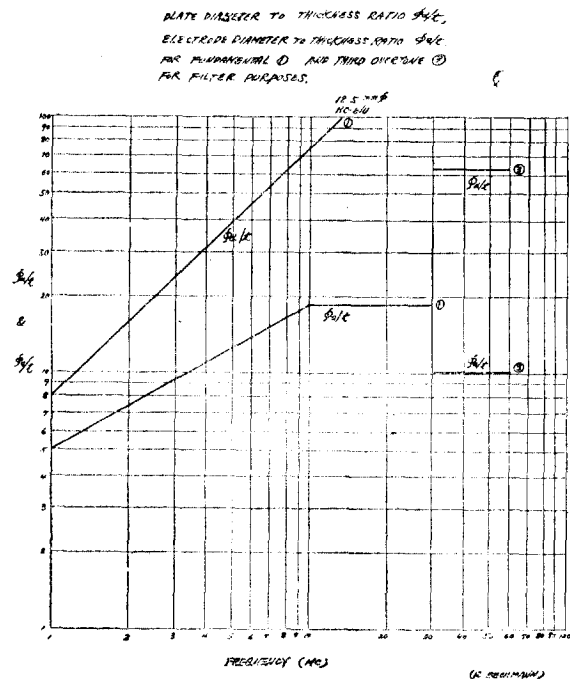


第4-2圖 電極膜과 振動遮斷

TAB膜의 相互角度는 180도가 通常이나 이 角度를 90度 또는 其他角度로 하던 不要振動의 抑制에 有効하다는 實驗報告가 있다. 銀點 Spot는 共振子의 X次元保架時에 適用되고 있으며 振動片主面 Z' 方向의 適當한 場所 直徑 0.5~1mm의 銀點을 燒付하는 것이다.

參 照 文 獻

1. Bechmann R. 外 : Suppressing unwanbeb Modes in 5~100Mc/s Thickness Shear Quartz Plates. Frequency 18-20, Mar-Apr 1966.
2. 屋上 外 : Analysis of Piezoelectric Resonators Vibrating in Trapped energy Modes. 信學誌(日本), No. 9, Vol. 49, Sep 1965
3. Sykes R. A. : Modes Motion in Quartz Crystals, the effects of coupling and methods of design. Bell syst. T. J. Vol. 23, 1944.



第41圖 $\phi a/t$ 및 ϕ_e/t