オーバートーン水晶発振子のラツピング (第1報)*

——片面ラツピング——

正会員 井田 一郎** 新井 湧三**

Lapping of Overtone Quartz Oscillator-Plates

Part I, "Single" Lapping

Ichiro IDA & Yuzo ARAI

The recent progress of telecommunication has needed overtone quartz oscillator-plates. In Japan, however, they have not been actually used till present owing to the difficulty of its mechanical work. The authors have studied on how to lap quartz plates, and at first carried out experiments of "Single" laps, which are "Free block" lap, "Cemented block" lap as well as "Vacuum chuck" lap. Then, they have succeeded in lapping oscillator-plates for Mc by two "Plane parallel" laps.

In this report, the results by "Single" laps are shown, and the conclusions are as follows :

- (1) By simple "Single" laps, the overtone can not be excited,
- (2) parallelism of plates thus obtained can not be under several microns,
- (3) the reason is attributed to the lack of "equi-thickness-parallelism" principle.

1. 緒 論

最近における VHF・UHF ならびにマイクロエーヴ無線通信の発達はいわゆる スプリアス・レスポンス対策と装置の小形化のため、40 Mc 以上の周波数をもつオーバートーン水晶発振子の実用化を要求するに至つた。従来のように厚味滑振動の基本波を用いた場合には、AT***板で 16.6Mc, BT板****で 25.5Mc およその最高周波数でこれより高い周波数を得るには、古くから知られていたオーバートーンを用いばよいのであるが、水晶板の加工技術に最大の困難があつた為、我が国においては実用されるに至らなかつた。オーバートーン水晶発振子の板厚は図 1 に示すように同一周波数を得るのに、 n 次のオーバートーンを用いば基本波の場合の n 倍になるから必ずしも薄くする必要はないが、オーバートーン次数の上昇に伴い、発振強度が低下する²⁾から、或程度迄薄くして、適当な次数で励振する必要がある。又厚味滑振動の原理上、板の両面の平行度のよいことが、発振強度を大きくする条件で、周波数が高くなる程、平行度は厳しくなり、実験結果を綜合すれば、図 1 に示すようになる。従つて 40~60Mc を AT 板第 3 次オーバートーン

によつて得るには、板厚 0.125~0.083mm, 平行度 0.5~0.2 μ となり、ここに薄板脆性材料の精密加工が問題になつてきた。尙この研究は電気通信研究所におけるオー

図 1 振動変遷り及び板厚・周波数・平行度の関係

バートーン水晶発振子の実用化の一環として行われたものである。この為加工精度乃至性能は主として発振子の電気的特性*をもつて示している。

2. ラツピングの問題点とその考察

上記の精度で薄板をつくるには、平行平面ラツプ(両面ラツプ)によるのが、原理的にも生産的にも望ましいのは明らかである。しかし、在来ラツプ盤では最低 0.2mm の厚さを対象としているので³⁾、キャリヤ**の

* 昭30, 4月精機学会春期大会にて講演

** 電々公社電気通信研究所試作部

*** 光軸に対し +35°15' で切断

**** 光軸に対し -49°00' で切断

* 測定は当所部品研究室 高原, 小林両氏による

** ケージ, 或はワークホルダーともいつている。

制限から、両面加工は不可能である。

そこで板厚に無関係に加工するものとして、フリー・ブロック法⁴⁾・接着法等のような片面ラップによればこれ等により、0.05mm 程度の薄い水晶板を得ることが出来る。しかし、平行度を保証するには、特別な注意、特に基準面の光学的平らかさ⁵⁾、ラップ圧力印加点の微妙な移動の等を必要とし、再現性のあるオーバートーン励振に困難を来たすものが多く、生産性に乏しい。

平行平面ラッピングを可能とするには、キャリヤが薄くなるために生ずるその強度及び平坦度の劣化を防いで、ラッピング運動の伝達を円滑にし、同時にキャリヤ収容孔からの被加工物の脱出を防止すればよい。換言すれば、キャリヤを十分強化して被加工物の脱出・破壊を無くするとともに、平坦度も向上させて、平行平面ラッピングに於ける等厚平行原則を成立させるのである。

この考え方から、第2報で述べるキャリヤの公転と自転を分離し、その運動適用を局所化したマルチプル・クリスタル・フィニツシヤとキャリヤそのものに外部より張力を与え、その剛性・平坦度を著しく向上させたダイヤモンド・ラップを試作した。

以上を要約し、且つ実験結果を参考にして、各ラップ法をまとめれば、表1のようになる。

表1 各種ラップ法の比較

方式	名称	方法	特長	欠点
片面	セメントドブロック・ラップ	接着剤を用いて、ブロックに被加工物を固定する	容易に薄く出来0.05mm以下も可能	平行度の保証にマニュアルな面が多い
片面	フリー・ブロックラップ	リテーナーによつて被加工物の逸出を防ぎ且つフリーに保つ	薄くできて、しかも取扱簡単	基準面の保持とフリーに保つことに矛盾がある
片面	真空チャックラップ	大気圧によつて被加工物を基準面に接触固定	薄く、かつ反射面に仕上ができる	吸入孔の大きさを無視できぬ
両面	マルチプルクリスタル・フィニツシヤ	キャリヤの小形化とその公転自転の分離	0.08mm位まで迅速且つ平行にできる	板厚に限界がある
両面	ダイヤモンド・ラップ	キャリヤに張力を与えその剛性、平坦度を増す	0.06mm位まで容易且つ平行にできる	ラップ量が小さい

以下、先ず片面ラップによる実験結果をのべる。

3. 片面ラップ

片面ラップは表1に示す3方法を試みた。これらは、板厚の実効厚さを増すことによつて、キャリヤの厚さを十分大きくとりうるようにするか、全くキャリヤを用いないことによつて、前述のキャリヤによる制限を無くす

ことになる。

試験片*は15×15mm(方形)、厚さ0.2~0.25mmのAT, BT板、ラップ盤には卓上ボール盤を改造したいわゆるドリル・プレス・ラップ、レンズ研磨機、及びシングル・クリスタル・フィニツシヤ(これはマルチプル・クリスタル・フィニツシヤとほぼ同様であるが、被加工物は1個だけラップされる)を用いた。

3.1. フリー・ブロック・ラップ

ラップ盤にはドリル・プレス・ラップを用い、水晶板の保持具に方形と円形の2種を用いた。両者とも同時に加工しうる水晶板は3又は6個で、ラップの径は240mm

図2 円形フリー・ブロック・ラップ

有効幅は60mmである。

* 尙発振子としては、ラップ後水晶板中央部に円形電極膜を蒸着法によつて、附着し、水晶板の隅において螺旋状のばねをもつてこれを挟み、ばねと水晶板の接触部分はフェノール、レジン、アルコール、銀粉を成分とする導電性接着剤をもつて固定し、ばねの他端は引出端子へ接続される。

この方法は図2に示すように、従来のキャリヤを用い各水晶板の上に個々にトップ・ラップがあるので、板厚差の収斂による等厚平行原則が満足されない。その構造はラップ圧力を与えるためのトップ・ラップ①（プランジャ）とそのガイド②（リテーナー、或いはシリンダー）からなり、円形ブロックでは更にコンデショニングディスク③が附加される。（方形では、リテーナーとこれが同一）このアセンブリをキャリヤ収容孔④に入れて図2のようにドリルプレスラップ⑤から、運動を与える。尚、リテーナー内面、トップラップ底面及びコンデショニング・ディスク底面にはセレーションを設け、砥粒の凝着を防いだ。

ラップ圧力はトップラップの自重のみであるから、ラップ量は小さく、表2に示す加工条件では、図3に示すように極めて小さい。

これを増すため、トップ・ラップの高さを増すのは、ラップ面に働く摩擦力による転倒モーメントを大きくするから、トップ・ラップのウォブリングを招いて、水晶板の平坦度を低下させる。この方法によれば、板厚の減少は連続的に行えて、板の破壊は極めて少いがその発振特性は表2に

図3 方形フリー・ブロック・ラップの加工特性

表2 方形フリー・ブロック・ラップ 発振特性

No.	t mm	Δt μ	f ₁ Mc	C ₀ pF	CI ₁ Ω	M ₁	CI ₃	M ₃	Ig ₃
E ₁ -1	0.120	3	—	—	—	—	—	—	—
E ₁ -2	0.115	7	—	—	—	—	—	—	—
E ₁ -3	0.115	5	—	—	—	—	—	—	—

加工条件 ラップ圧力11, 22, 33g/cm², ラップ速度 70rpm, 砥粒GC #600, ラップ液 水, ラップ時間 10時間, 濃度25%

ここに t は板厚, Δt は平行度, f_i は n 次オーバートーン発振周波数, C_0 は静電容量, CI_i は n 次のクリスタルインピーダンス, M_i は n 次の Figure of Merit*, 以下の表も同じ。

* 水晶振動子の等価回路を用いれば, $M = \frac{1}{w_0 Co R_1}$ である。ここに $w_0 = 2\pi f_0$, f_0 は水晶振動子の直列共振周波数, R_1 はクリスタルインピーダンスの抵抗分。

示すように極めて悪く、基本波 15Mc でも発振しなかつた。

この最も大きな原因は角孔と角棒の嵌合であるため、工作精度が出ていないからである。シリンダーとプランジャの円結合に改めた円形フリーブロック・ラップでは両者が精密嵌合し、且つプランジャはシリンダーにキー止めされ、プランジャの下面はコンデショニング・ディスクと嵌合する。これは砥粒の端丸め作用を軽減し、又水晶板のみの軌跡重量度の不足を補っているから、水晶板の平坦度をよくするほか、ラップ板のそれも向上させる効果がある。又キャリヤとディスクの間隙は約1mmで、キャリヤの公自転にともなうディスクのスピンニングが従来の五角形孔と方形の組合せより、遙かに円滑・連続的になるこの方法による結果を表3に示す。BT板

表3 円形フリー・ブロック・ラップ発振特性

No.	t mm	Δt μ	切断方位	f ₁ Mc	CopF	CI ₁ Ω	M ₁	オーバー トーン
E ₂ ~8	0.160	5	BT	14.75	9.5	36	19	—
E ₂ ~10	0.165	2	AT	9.85	10.2	6	265	*

ラップ圧力 80g/cm², ラップ速度 45rpm, 砥粒 GC #600 50'—50', ベンガラ 40'—40', ラップ液 水 + モノゲン

の基本波は発振したが、第3次オーバートーンは不能で、又やや周波数の低いAT板ではハートレー回路で漸

図4 E₂-2の平坦性, ナトリウム光による

く発振をみとめたに過ぎず、何れも平行度の不足を示す。上記E₂~2についてその平坦度を測定した結果は図4に示すように、干渉縞の巾、ピッチとも不同で単純な平面でないことが分る。

しかし、トップ・ラップ（プランジャ）の底面はかなり平坦な面（図5）

なので、水晶板の表裏交替期、ラップ時間等の作業条件の組合せによつては平行度の良好なものを得る可能性もないではないが、トップ・ラップをフリーに保つことと基準面の保持とが、砥粒の介在があるだけに、原理的に矛盾をもつものと結論せざるをえない。

3.2. セメンテッド・ブロック・ラップ

この方法では、接着に関する幾多の準備を必要とし、これを解決しておくことが順序であるが、比較のため、

シングル・クリスタル・フィニツシヤで若干の実験を行った。

図 5 トップ・ラップの平坦性，ナトリウム光による

接着剤は加熱しないで使用出来ることから，ニトロセルローズをブチル・アルコールに用いて約3時間放置した。セメントド・ブロックは同機によつて両面ラッピングし，その平坦度を18mmの巾に対して2 μ 程度にした。

ラッピングの方法は，ブロックをキャリヤ収容孔に入れ，キャリヤを主軸と同軸の摩擦車とラップ板外部にある案内車の間にはさみ，上下ラップ（外径 108mm，有効幅 8mm）をキャリヤと反対方向に回転させる。従つてブロックの基準面位置の変化が，異種材料におけるラップ量の差（すなわち，片面は水晶，他面は鋳鉄）でも変化する。本来の接着法はセメントド・ブロックの非接触面（ラップ板に対する）は全く加工にあずからないが，これは後述の真空チャック・ラップと本質的には異なるので試みなかつた。表 4 は本法による 1 例で，平

表 4 セメントド・ブロック・ラップ発振特性

No.	tmm	$\Delta t\mu$	切断方位	f_1Mc	CopF	$CI_1\Omega$	M_1	オーバートーン
C—3	0.142	5	BT	17.65	6.5	10	138	—
C—5	0.146	4	BT	17.30	6.4	10	144	*

ラップ圧力 250g/cm²，ラップ速度 50rpm，砥粒 GC#600—20 μ ，WA#2000—10 μ ，ドライ・ラップ10 μ ，ラップ液 水

平坦度は一定のラッピング軌跡により一様性が出たが，楔形になり，オーバートーンは全く発振せず，僅かにC—5で発振の徴候を認めたにすぎない。又ブロックに接着したままで，平坦度をみると，板が薄いため接着歪を起し極めて複雑な面を呈していることが分かつた。図 6 はその 1 例である。

3.3. 真空チャック・ラップ

本法は上記 2 方法の欠点を補うため，接着剤を用いなく，大気圧を利用して水晶板を基準面に接触・固定させるものとして考えられた。

水晶板が薄いために，その厚さの方向で把持する方法

がとれず，又そうしては，接触が不確実になるので，図 7 に示すように基準面①をホルダー②と 1 体につくりこれに径 0.5—1 mm の小孔を適当数配置であけ，気室

図 6 接着時のC—3の平坦性，ナトリウム光による

③導管④を介してペロー⑤につなぐ。又水晶板⑥の接触面方向の移動をとめるストッパー⑦も気室に連絡させた。ペローの先端を回転環⑧に接続し固定環の底面に大気圧によつて押付けて気密を保つ。しかし両環は円結合なので回転の自由度を持ち，ラッピング運動の際チャック全体はラップ圧

図 7 回転型真空チャック

力軸⑩のまわりに自転する。固定環はレンズ研磨機のアームで支えられ，一定位置をとる。又固定環の一部から回転真空ポンプに接続するジョイント⑪があり，更に図示していないが，ポンプとの間にラップ液だめを置いて，直接ポンプに砥粒が混入しないようにしてある。

駆動方法は，回転形ではレンズ研磨機の回転機構を利用した回転ラップ板（外径 280mm，有効幅 100mm）固定形はチャックを下側において，トップラップにアダプターを嵌入し，ドリル・プレス・ラップに依つて，擬似遊星歯車運動を与えた。

表 5 は固定形チャックに於ける 1 例で，この結果は，従来に比べれば，比較的そろつて基本波を発振した点でやや向上がみられるけれども，水晶板間の板厚差は 25 μ もあつてスピニングのないこと，及びラップの大きさに対するチャックの大きさが大きいいため水晶板とラップ板に対する軌跡が不適当である欠陥を示している。そして，平坦度には吸入孔の影響が現われ球面に近い。図 8

はその1例である。この傾向は、孔が1個の時もつとも強いのは当然である。しかし、基準面によつて支持されているので、鏡面ラツピングを容易に行える。

表 5 固定形真空チャック・ラップ発振特性

No.	tmm	$\Delta t\mu$	切断 方位	f_1 Mc	CopF	CI_1 Ω	M_1	オー バト ン	吸入 孔の 数
V ₁ -1	0.181	4	A T	9.26	11	13	110	—	1
V ₁ -2	0.195	3	A T	9.20	10.5	10	146	—	4
V ₁ -3	0.170	5	A T	10.13	12.3	10	128	—	1
V ₁ -4	0.175	3	B T	—	破	—	壊	—	4

ラップ圧力 260 g/cm², ラップ速度 60 rpm, 砥粒 GC # 600~20' (ラップ液水) ドライ・ラップ 30'

図 8 吸入孔1ヶの平坦度
に及ぼす影響(V₂-6)
ナトリウム光による

回転形チャックの場合も表6に示すように大差ない。吸入孔が1個の時は、ほぼ完全なニュートン・リングを示すことは固定形の場合と同様である。又基準面の平坦度も孔が存在するため砥粒の端丸め作用によつて、孔の周囲がだれ易い。

結局、吸入孔の大きさが有限であること、スピニングを欠くことが平坦度に影響しており、このため本法でも良好な結果はえられなかつた。

以上3方法では、水晶板が保持具に対して1個乃至数個しか同時に存在しないため、光学部品研磨に於けるよ

表 6 回転形真空チャック・ラップ発振特性

No.	tmm	$\Delta t\mu$	切断 方位	f_1 Mc	CopF	CI_1 Ω	M_1	オー バト ン	吸入 孔の 数
V ₂ -16	0.158	6	A T	10.85	14	10	105	—	9

ラップ圧力 250 g/cm², ラップ速度 45 rpm, 砥粒 GC # 600~30' 後, ドライ・ラップ 30', ラップ液 水

うに多数個の同時加工による板厚の不同に対する補償がない。

従つて、平行度の保証は非常に困難であり、平坦度も亦スピニングの不足乃至欠除により難点をもつことになる。

更に基準面の保持が安易であることは、片面ラツピングで平坦度の保証をしても平行度を充たさなかつた。

このため、平行度はたかだか数 μ に過ぎず、得た結果の範囲では、AT板で10Mc, BT板で18Mcに過ぎなかつた。これでは要求を満足できないので、以後、次報にのべる平行平面ラツピングに主力を注いだ。(1956, 2月, 2日受付)

文 献

- 1) 古賀・福与：電気通信学会誌（信学誌）36, 1953, p. 59.
- 2) 高原・小林・井田・新井：通研月報, 8, 1954, p. 110.
- 3) W. Parrish : Amer. Mineralogist, 36, 1951, p. 389.
- 4) L. T. Sogn : Journal of Research of N. B. S., 43, 1949, p. 459.
- 5) E. A. Gerber : Electronics, 1954, p. 161.
- 6) F. Twyman : Lens and Prism Making, Hilger, 1951, p. 321.

平面の超仕上に関する研究（第1報）*

平面超仕上の切削量について（その1）

正 会 員 松 井 正 己**

Studies on Flat Superfinishing (Part 1)

On the Stock Removal by Flat Superfinishing—theoretical—

Seiki MATSUI

A new flat superfinishing process which may be called a work-vibration type is designed and