

平成27年度戦略的基盤技術高度化支援事業  
「極小化に対応した水晶振動子真空移載・加熱封止装置の研究開発」

研究開発成果等報告書

平成28年 3月

委託者 関東経済産業局

委託先 タマティーエルオー株式会社

## 目次

### 第1章 研究開発の概要

1. 1 研究開発の背景・研究目的および目標
  - A. 背景
  - B. 本研究開発の目的と概要
  - C. 研究開発目標
1. 2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）
  - 1) 研究組織（全体）
  - 2) 管理体制
  - 3) 管理員及び研究員
  - 4) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名
  - 5) 他からの指導・協力者
1. 3 成果概要
  1. 3. 1 新規真空加熱封止装置の開発
  1. 3. 2 真空内低融点接合プロセスの最適化
  1. 3. 3 真空中での高速昇温均一加熱ヒータの開発
  1. 3. 4 真空中での部品移載技術の開発
  1. 3. 5 周波数調整から封止までの真空一貫処理
1. 4 当該研究開発の連絡窓口

### 第2章 高歩留まり真空加熱封止装置の開発

2. 1 真空加熱封止装置
  2. 1. 1 加熱機構
  2. 1. 2 二段階プレス加熱

### 第3章 真空内低融点接合プロセスの最適化

3. 1 真空加熱封止前後の水晶振動子特性の変化
3. 2 リッドのアニール処理
3. 3 CI値の温度変化

### 第4章 真空中での高速昇温均一加熱ヒータの開発

4. 1 AlNヒータ
4. 2 ヒータ構造
4. 3 ヒータ特性

### 第5章 真空中での部品移載技術の開発

5. 1 水晶振動子の静電吸着
5. 2 真空移載装置
  5. 2. 1 装置構成
  5. 2. 2 移載動作

### 第6章 周波数調整-加熱封止の真空一貫処理

6. 1 周波数調整-加熱封止の真空一貫処理実験
6. 2 実験方法

6. 3 実験結果

第7章 全体総括

7. 1 研究開発の概要

7. 2 三年間の研究開発成果

7. 3 研究開発後の課題・事業展開

7. 4 おわりに

## 第1章 研究開発の概要

### 1. 1 研究開発の背景・研究目的および目標

#### A. 背景

水晶振動子は1922年 Walter Guyton Cady によって提案された。古賀逸策が1933年に発明した零温度係数をもつR1板水晶振動子は、今日ではATカットとよばれ、無線通信のその後の発展に大きく寄与し、また、日本が世界市場の大半を占める礎となった[1]。

水晶振動子は極めて良好な周波数安定度を持ち、その特徴を最大限生かすため、個々の周波数偏差を極力小さくするように、その製造工程が発展してきた。水晶振動子個々の周波数を測定しながら電極膜厚を変化させることによって個々の周波数を所望の値に合わせこむ周波数調整工程のように、特徴的な個別処理工程が取り込まれるようになった[2]。

また、「産業の塩」と呼ばれる水晶デバイスは、パソコン、携帯電話、デジタルカメラといったデジタル家電から自動車や基幹通信系などの産業インフラに至る、あらゆる電子機器に搭載されており、日本が世界市場の6割を占める分野である。近年の電子機器は、高機能化と複合化、そして小型化・薄型化に拍車がかかり、様々な電子部品は小型化の一途を辿っている。水晶振動子も同様に1990年ごろよりセラミックパッケージを用いた小型SMD化が進展し[6]、そのパッケージサイズも従来の7.0×5.0mm（通称：7050）から、現在では2.0×1.6mm（2016）が市場の主流を成している（図1-1参照）。更には、1.6×1.2mm（1612）から1.2×1.0mm（1210）といった極小サイズも上市され始めてきている[3]。

日本水晶デバイス工業会（QIAJ）によると、2011年度通期の数量としては、スマートフォン、タブレットPCに牽引され、120億個を超え（図1-2参照）、前年度比111.6%の数量増と予測している[3]。2011年度以降についても主要各社では、数量的には二桁の伸びが確保出来るとの見方をしており、史上最高の生産規模になるためには生産能力の拡大が鍵を握る。主要各社では市場が拡大している小型パッケージ品を中心に国内外で生産能力の拡大に乗り出している[4]。

図1-3に示したのが、2010年にQIAJが発表した水晶デバイスの2020年までのロードマップである[5]。小型化は1210サイズから1008サイズへと移り、また、温度補償型水晶発振器（TCXO）では、数年のうちに0.5ppmの精度が要求されると予測している。

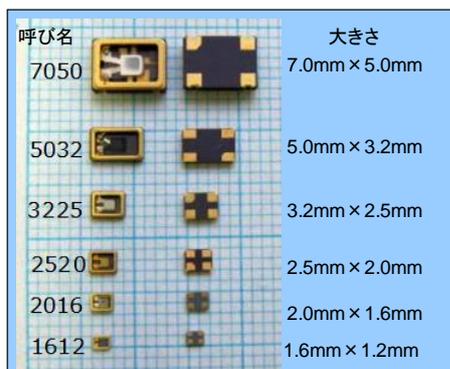


図1-1 パッケージサイズ

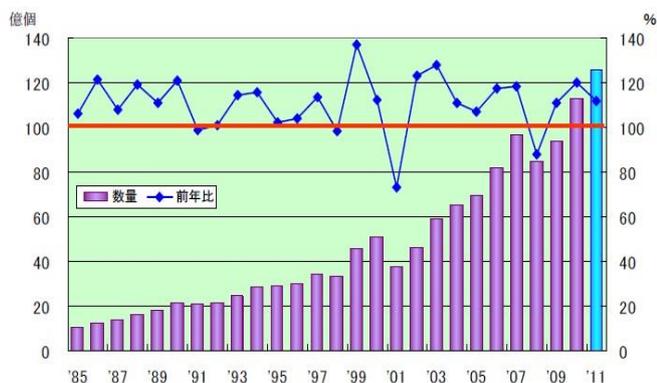


図1-2 水晶デバイス生産量推移

	現在 (2010)	5年後 (2015)	10年後 (2020)
小型化・低背化		2.0×1.6×0.5 (t) → 0.4(t)	
		1.6×1.2×0.4 (t) → 0.3 (t)	
		1.2×1.0 (w) ×0.3 (t)	
		1.0×0.8 (w) ×0.25 (t)	
高精度化		TCXO ±2.5×10 <sup>-6</sup> → ±0.5×10 <sup>-6</sup>	
		OCXO ±0.1×10 <sup>-6</sup> → ±0.01×10 <sup>-6</sup>	
		Crystal unit ±100×10 <sup>-6</sup> → ±10×10 <sup>-6</sup>	
高周波化		BAW : 622MHz → 1GHz → 3GHz	
		SAW : 2GHz → 3GHz	
		F-BAR	
高信頼性耐候性		高温環境下への対応 85℃ → 125℃	
		機械的強度、耐衝撃性への対応	
		厳しい環境化での実装性能の確保	
低パワー		間欠動作、スタンバイモード、スリープモードへの対応 (AT+音叉)	
		低消費電力化 (RTC等)	
		低電圧対応	

図1-3 水晶デバイス技術ロードマップ

このように、デジタル家電メーカーにおいては、他の電子部品同様水晶振動子の小型低背化と高精度化のニーズがあり、また、医療分野においても、患者に負荷をかけずに生体内外通信を行うには、より小型の電子部品が必要となるが、現在 1612 レベルの水晶振動子しかないことから、デジタル化が進まない一つの大きな要因となっている。一方で、水晶振動子メーカーでも素子サイズの極小化、低価格化により、生産設備あたりの月生産個数増加に対する努力

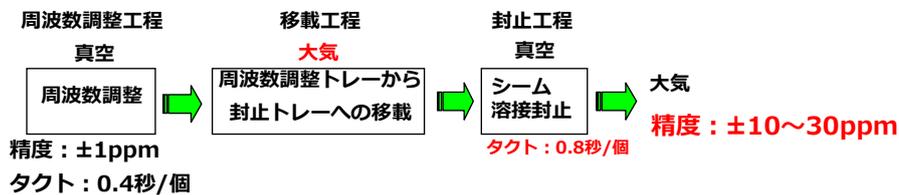
を続けており、各装置メーカーに対しても、これを達成する装置の実現を求めている。

### B. 本研究開発の目的と概要

水晶振動子の小型化に伴い、これに対応した周波数調整装置を H22-24 サポインで開発した。ところが、現在主流であるシーム溶接による封止では、素子サイズが小型化されるに従い、移動電極構造、トレイ構造などの小型化の限界、局所加熱による熱応力増大のため、極小化対応が困難であり、また個別処理であるためタクトタイムの短縮に限界がきており、小型化への対応が遅れている。さらに、真空中で周波数調整した後、周波数調整用トレイから封止用トレイへの移載を大気中で行い、再び真空にしてから封止を行っているため、大気中での酸化、吸着、埃の混入によって周波数ばらつきの悪化、封止不良の発生によって歩留まりが悪化していた。

そこで、本研究開発では、周波数調整から封止工程まで大気に曝すことなく一貫して真空中で処理することによって、酸化、吸着、埃の影響を抑え、更に封止プロセスを最適化することで高品質化し、多数一括処理により高い生産性を得る高歩留まりの装置を研究開発し、水晶振動子分野における日本の競争力強化と新産業創出加速化に貢献する。

#### 従来の工程



#### 本研究開発による工程

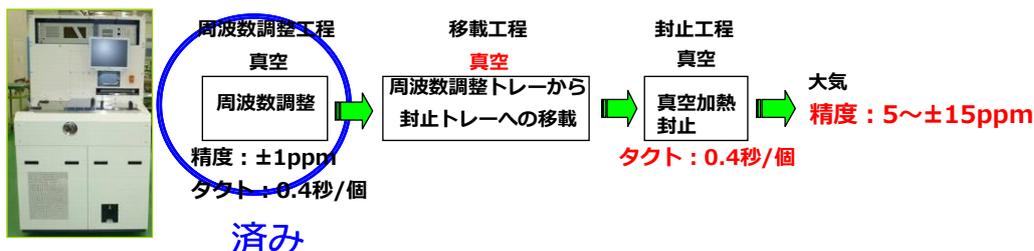


図1-4 本研究開発による水晶振動子の製造工程

## C. 研究開発目標

本研究で開発する新型の真空加熱封止装置の目標は、

- 1)タクトタイム；0.4s/個
- 2)周波数ばらつき； $\pm 5\sim 15$ ppm
- 3)トレー昇温時間；4min
- 4)移載方式；真空

でありこれを実現するための個別テーマと実施内容は以下の通りである。

### (1) 高歩留まり封止装置の開発

ベースとなる真空加熱封止装置を試作し、真空中での高速昇温均一加熱技術、パッケージ内高真空維持技術、及び真空内低融点接合プロセスの最適化を検討することで、月産400万個可能なタクトタイム0.4s/個と封止後周波数ばらつきが従来の1/2となる高歩留り生産が可能な水晶振動子真空封止技術の開発を行う。

#### (1. 1) 新規真空加熱封止装置の開発

初年度に新規試作した真空加熱封止装置の評価、改良を行い、高速昇温均一加熱機構、加熱時の放出ガス対策によるパッケージ内高真空維持技術、接合プロセスの最適化を検討した。封止技術、真空移載技術を確立し、新型装置を完成させ市場投入を行う。

#### (1. 2) 真空内低融点接合プロセスの最適化

水晶振動子は封止後、周波数、CI値などの特性が変化することがあり、その変化のメカニズムを解明し、真空内低融点接合プロセスを最適化する。封止接合部の分析、解析、及び、水晶振動子の開封分析により、放出ガスの多い条件下での封止でAuSnの飛翔している可能性が見られた。低融点接合プロセス技術を確立し、新型装置を完成させ市場投入を行う。

### (2) 真空中での高速昇温均一加熱技術の開発

真空加熱封止ではトレー内の温度を効率よく短時間で均一に昇温させることが重要である。AlNヒータにより、トレー昇温時のヒータブロックの温度変動を低減し、更に均等加圧機構により、トレー昇温時間4min、トレー面内温度分布のばらつきも $\pm 2^{\circ}\text{C}$ が得られた。今年度は分割AlNヒータを大型1枚化し、簡略化、コストダウンする。

### (3) 真空中での部品移載技術の開発

#### (3. 1) ピックアップ方式の検討

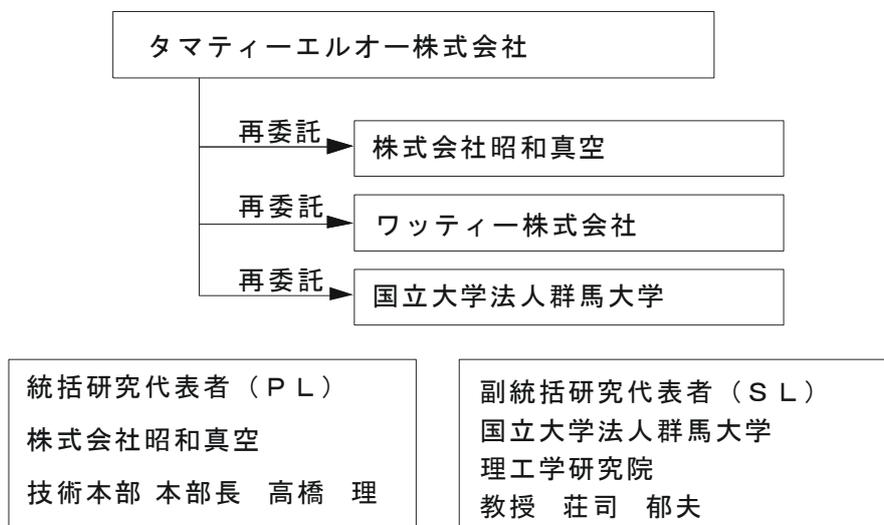
静電吸着ピンによる真空移載方式により、真空中で周波数調整トレーより水晶振動子をピックアップし、封止用トレーに移載することが可能となった。今年度は、絶縁コーティング材、吸着ピン形状を改良し、移載確率99%以上とする。

#### (3. 2) 移載装置

昨年度上記真空移載方式を搭載した装置を試作した。今年度は真空移載装置の評価・改良を行い、ピックアップ、位置決め精度の信頼性、再現性を向上させる。また、周波数調整装置、空移載装置、及び真空加熱封止装置を連結させ、周波数調整から封止まで真空中で一貫して処理することによって、封止後周波数ばらつきを低減できることを検証する。

## 1. 2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

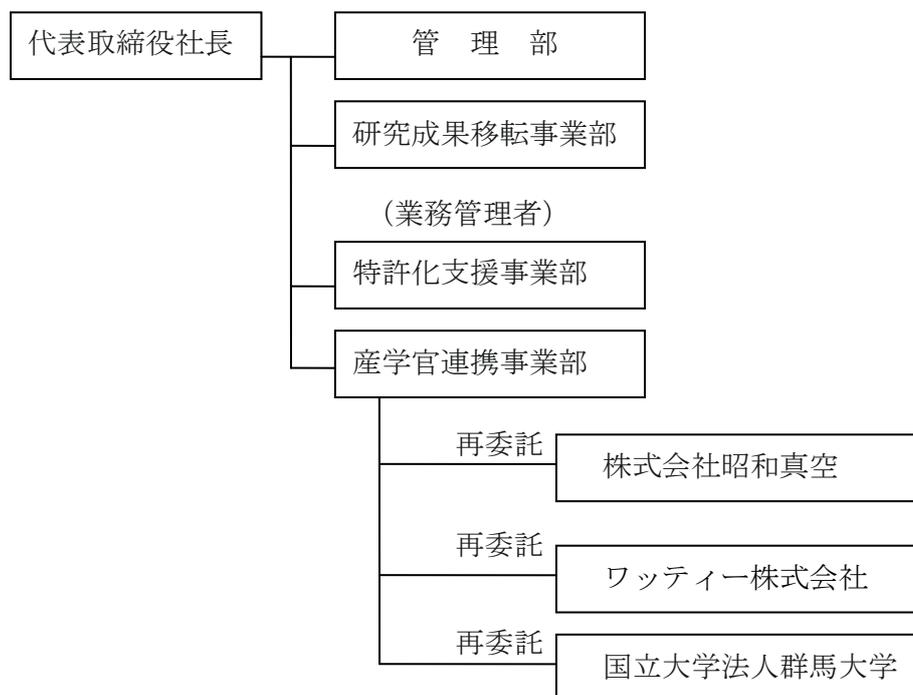
### 1) 研究組織（全体）



### 2) 管理体制

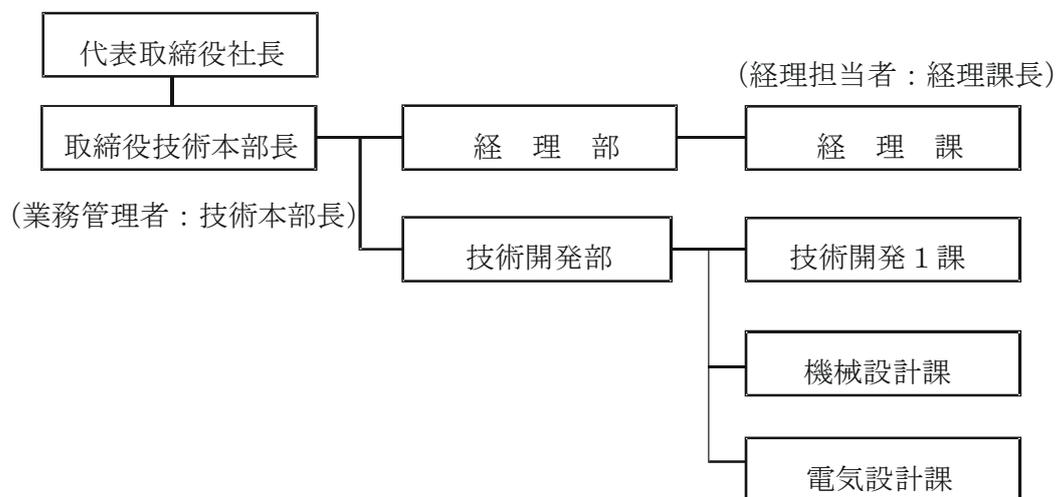
#### ①事業管理機関

[タマティーエロオ株式会社]

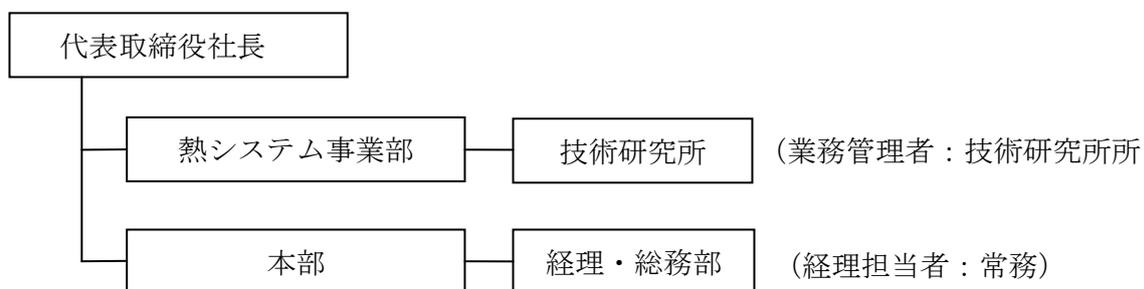


② 再委託先

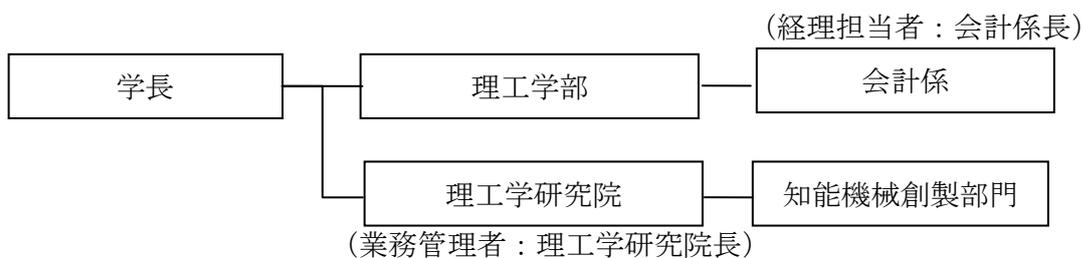
[株式会社昭和真空]



[株式会社ワッティアー]



[国立大学法人群馬大学]



### 3) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 タマティールエルオー株式会社

#### ① 管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
松永 義則	研究成果移転事業部長	①

【再委託先】 (研究員)

株式会社昭和真空

氏名	所属・役職	実施内容 (番号) ※
高橋 理	取締役技術本部長	①、②、③、④
石上 達士	技術開発部部長	①、②、③、④
白井 修	技術開発部技術開発1課 課長	①、②、③、④
塩野 忠久	技術開発部技術開発1課 専門研究員	①、②、③、④
長田 佑介	技術開発部技術開発1課 係長	①、②、③、④
森 広宣	技術開発部技術開発1課 係長	①、②、③、④
松岡 範佳	技術開発部技術開発1課 主任	①、②、③、④
跡邊 好寿	技術開発部技術開発1課 主任	①、②、④
古泉 秀樹	技術開発部技術開発1課	①、②、④

ワッティール株式会社

氏名	所属・役職	実施内容 (番号) ※
大石 和之	技術研究所 所長	③
黒田高廣	技術研究所 次長	③
小澤 幸明	技術研究所	③
三輪 敏	技術研究所	③
栗原 歩	技術研究所	③

国立大学法人群馬大学

氏名	所属・役職	実施内容 (番号) ※
荘司 郁夫	理工学研究院 知能機械創製部門 マテリアルシステム理工学分野 教授	②
小山 真司	理工学研究院 知能機械創製部門 マテリアルシステム理工学分野 助教	②

印：①新規真空封止装置の開発、②真空内低融点接合プロセス技術の開発

③真空中での高速昇温均一加熱機構の開発、④真空中での部品移載技術の開発

#### 4) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

##### (事業管理機関)

タマティーエルオー株式会社

(経理担当者) 管理部長 吉野 正喜

(業務管理者) 特許化支援事業部長 武田 隆

##### (再委託先)

株式会社昭和真空

(経理担当者) 経理部 経理課長 栗山 政博

(業務管理者) 取締役 技術本部長 高橋 理

ワッティー株式会社

(経理担当者) 経理・総務部 常務 菅波 希衣子

(業務管理者) 技術研究所 所長 大石 和之

国立大学法人群馬大学

(経理担当者) 理工学部 会計係長 宮路 昌浩

(業務管理者) 理工学研究院長 篠塚 和夫

5) 他からの指導・協力者

研究開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
高橋 理	株式会社昭和真空 技術本部長	PL
荘司 郁夫	国立大学法人群馬大学 理工学研究院 知能機械創製部門 マテリアルシステム理工学分野 教授	SL
石上 達士	(株)昭和真空 技術開発部 部長	
白井 修	(株)昭和真空 技術開発部技術開発1課 課長	
塩野 忠久	(株)昭和真空 技術開発部技術開発1課 専門研究員	委
長田 佑介	(株)昭和真空 技術開発部技術開発1課 係長	委
森 広宣	(株)昭和真空 技術開発部技術開発1課 係長	委
松岡 範佳	(株)昭和真空 技術開発部技術開発1課 主任	委
跡邊 好寿	(株)昭和真空 技術開発部技術開発1課 主任	委
古泉 秀樹	(株)昭和真空 技術開発部技術開発1課	委
小山 真司	国立大学法人群馬大学 理工学研究院 知能機械創製部門 マテリアルシステム理工学分野 助教	委
大石 和之	ワッティ(株) 技術研究所 所長	委
黒田 高廣	ワッティ(株) 技術研究所 次長	委
小澤 幸明	ワッティ(株) 技術研究所	委
三輪 敏	ワッティ(株) 技術研究所	委
栗原 歩	ワッティ(株) 技術研究所	委
渡部 泰明	公立大学法人首都大学東京 大学院理工学研究科 教授	アドバイザー (謝金、 旅費)
小谷田 博章	筑波精工株式会社 技術部 課長	アドバイザー (謝金、 旅費)
石井 浩	三生電子(株) 技術統括執行役員	アドバイザー (謝金、 旅費)
井深 丹	タマティーエルオー(株) 代表取締役社長	
松永 義則	タマティーエルオー(株) 研究成果移転事業部長	
武田 隆	タマティーエルオー(株) 特許化支援事業部長 (調査専門員)	
川崎 聡也	経済産業省 関東経済産業局 産業部 製造産業課	

### 1. 3 成果概要

目標である月産 400 万個可能なタクトタイム 0.4s/個と封止後周波数ばらつきが従来の 1 / 2 を実現するため、真空加熱封止装置、及び真空移載装置を新規に設計、製作した。製作した装置の評価、改良を行い、これらを連結して周波数調整－真空加熱封止の真空一貫処理ラインを構成し、真空一貫処理が周波数ばらつき低減に有効であり、封止後周波数ばらつきが従来の 1 / 2 以下であることを確認した。また、要素技術として、①真空中での高速昇温均一加熱ヒータの開発、②真空中での部品移載技術の開発、及び③真空内低融点接合プロセスの最適化について実施した。

#### 1. 3. 1 高歩留まり真空加熱封止装置の開発

月産 400 万個可能なタクトタイム 0.4s/個と封止後周波数ばらつきが従来の 1 / 2 を実現するため、ベースとなる真空加熱封止装置を初年度、新規に設計・製作し、評価・改良を行ってきた。2 段階プレス封止機構を追加することにより、音叉型水晶振動子の封止前後の CI 上昇を抑えることが可能となった。

#### 1. 3. 2 真空内低融点接合プロセスの最適化

水晶振動子の真空加熱封止後の特性変化について、そのメカニズムを解明するため水晶振動子の接合部分析、開封分析を行った。微量ながら Sn が検出され、封止時に AuSn が飛翔し、水晶振動子電極に付着することによって、周波数低下が生じている可能性がある。また、リッドアニールにより周波数ばらつきが低減できること、音叉型水晶振動子の CI 温度特性の測定により、封止時に気体の封入とともに固体付着が生じていることが分かった。

#### 1. 3. 3 真空中での高速昇温均一加熱ヒータの開発

真空中での高速昇温均一加熱ヒータを開発するため AlN ヒータ、Hi Watty を採用し、AlN ヒータを組み込んだ BeCu ヒータプレートを、真空加熱封止装置に搭載した。これらのヒータには、均等加圧機構を搭載し、プレス加熱時の押圧分布が均一になるようにした。トレー昇温特性は予備加熱設定温度到達まで 3 分、面内温度分布ばらつき  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  が得られ、封止ヒータでのトレー昇温特性も設定温度まで 1 分弱、面内温度分布  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  と良好な結果が得られた。

#### 1. 3. 4 真空中での部品移載技術の開発

ピックアップ方式として採用した静電吸着ピンの微少な吸着力測定を行うため、板ばね式吸着力測定器を開発し、吸着力特性の測定、及び静電吸着ピンの評価ができるようになった。昨年度作製した真空移載装置の評価・改良を行った。低速昇降、振り落とし動作等の移載動作の変更により、移載成功率が 85% から 99.2% まで改善された。

#### 1. 3. 5 周波数調整から封止までの真空一貫処理

周波数調整から封止まで真空中で一貫処理した水晶振動子特性の評価を行い、真空一貫処理の有効性を検証した。封止後の周波数変化は、移載条件とガス放出処理後の放置時間の両方が影響しており、短い大気放置時間で、周波数調整から封止工程まで一貫して真空中で処理することによって、封止後周波数ばらつきを低減できることが確認できた。

### 1. 4 当該研究開発の連絡窓口

事業管理機関 タマティールエルオー株式会社

産学官連携事業部 産学官連携事業部長 山県道昭

電話 042-570-7240 FAX 042-570-7241 E-mail: yamagata@tama-tlo.com

## 第2章 高歩留まり真空加熱封止装置の開発

### 2.1 真空加熱封止装置

本研究開発では新規に真空加熱封止装置 SLS-401T を開発した。開発した真空加熱封止装置の外観写真を図 2-1 に示す。装置本体の外形寸法は巾 2500mm×奥行 1430mm×高さ(真空槽基準面まで)1060mm となっており、搬送ライン高さは周波数調整装置 SFE-B03 と同一の 961mm である。真空槽は左から仕込み室、処理室、取出室で、左から右へ搬送するインライン方式である。排気系は処理室をターボ分子ポンプ、仕込み取出室をメカニカルブースターポンプと油回転ポンプで排気する。装置本体の後ろに処理室の補助ポンプと仕込み取出室排気用のポンプを配置する。対象素子サイズは 2016(1210 まで想定)、トレー 1 枚の水晶振動子搭載数は 24 個×29 列=696 個(32×44=1408 個まで想定)である。タクトは 0.4s/ケである。

真空槽内部の構成を図 2-2 に示す。処理室には予備加熱 2 段、封止 1 段、冷却 1 段の合計 4 段のプレス機構を搭載し、取出室には水晶振動子の CI (クリスタルインピーダンス) 値測定を行うコンタクト機構、及びトレー昇降機構、搬送機構を搭載する。トレーは左側より投入され、ローラー搬送によって、ローダー機構、仕込み室、トレー受渡機構(上流)と搬送される。トレー受渡機構でローラーから搬送レールにトレーを載せ替え、予備加熱 1、予備加熱 2、封止、冷却の順番で処理が行われる。トレー受渡機構(下流)で再び搬送レールからローラーに載せ替えられた後、取出室に搬送され、CI 値測定によるリーク検査(CI リーク検査)が行われる。最後にアンローダー機構からトレーを排出する。



図 2-1 装置外観

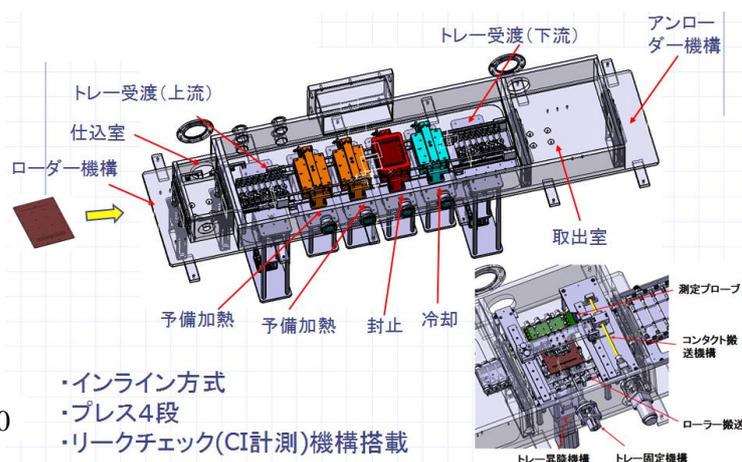


図 2-2 内部構成

## 2. 1. 1 加熱機構

加熱機構の構造を図2-3に示す。トレーを AuSn の融点直前の温度に加熱保持する予備加熱2段、荷重をかけながら AuSn 融点以上に加熱する封止加熱、封止後直ちに AuSn 融点以下に下げる冷却機構で構成されている。真空中で効率よくトレーに伝熱するため、加圧接触伝熱方式を採用している。搬送ライン上下に BeCu 製のヒータプレートが設置され、トレーをヒータプレートの上に搬送した後、下側のヒータプレートをエアシリンダにより上昇させ、トレーをヒータプレートで上下から挟み込むことにより加熱する。

トレー全体の接触熱伝達率を均一にして昇温速度を均一にするため、図2-4で示す均等加圧機構を設けている。これはシリンダからの荷重をヒータプレート全体に8点に分散させる機構である。ヒータプレートに加工や組み立てによる傾きが発生した場合、荷重は傾きの低い点により多く掛かり分布にムラが発生してしまう。そこで分散機構の形状を板ばね状とし、意図的にたわませる構造にすることにより、傾きによる偏荷重を吸収する機構とした。

封止加熱では、上ヒータプレート内部に封止ピンが搭載され、個々の水晶振動子に対して個々にスプリングで荷重をかけながら加熱する構造となっている。水晶振動子のセラミック製パッケージ、及びリッドの AuSn 半田は、厚みにそれぞれ数  $\mu\text{m}$  ~ 十数  $\mu\text{m}$  程度のばらつきがあるため、この厚みばらつきを吸収し、効率よく接触伝熱を行い、また、AuSn の濡れ性を高める効果がある。

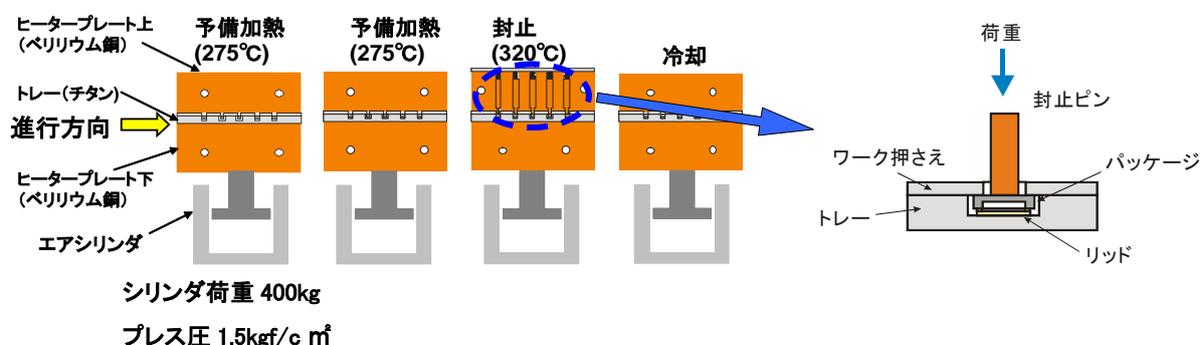


図2-3 加熱機構

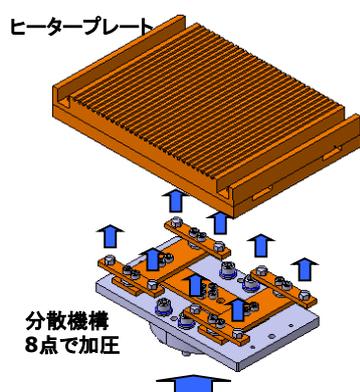


図2-4 均等加圧機構

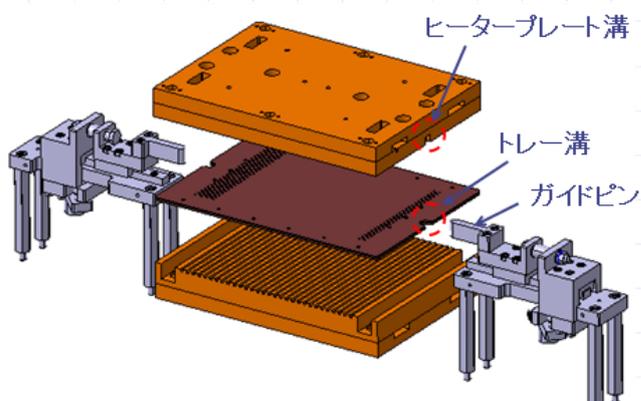


図2-5 トレー位置決め機構

封止加熱では個々の素子に封止ピンによって荷重をかけるため、トレーとヒータプレート  
を±0.07mm以下の精度で位置合わせを行う必要がある。そこで、ヒータプレートとトレー  
の熱膨張差を考慮して各々の寸法を設計し、トレーの位置決め機構を搭載した。

ヒータプレートの材料であるベリリウム銅とトレーの材料であるチタンでは熱膨張率が  
異なるため、加熱温度(320℃)では封止ピン範囲(100mm×140mm)で約0.5mmのずれが発生  
する。そこでトレー側を基準として常温状態でヒータプレートを小さく製作することにより、  
加熱時に両者の寸法が等しくなるようにした。トレー位置決め機構は、図2-5のようにプ  
レス直前に手前および奥側に設けられたガイドピンを、トレーとヒータプレートの基準とな  
る溝に押し当てることで位置を合わせる機構である。

## 2. 1. 2 二段階プレス加熱

予備加熱機構で275℃に加熱されたトレーは封止機構では320℃まで加熱される。この時  
の275℃から320℃までの温度上昇でリッドやパッケージよりガスが放出され、封止ワーク  
の特性に悪影響を与えることがある。そこで封止加熱時に一旦ヒータプレートを中間位置で  
停止し、ガス放出を促進する二段階プレス機構を追加した。二段階プレス機構を図2-6に  
示す。プレス機の駆動源をエアシリンダから電動アクチュエータ(パルスモーター+ボールね  
じの構造)に変更し、ストローク、及びプレス荷重を可変する機構とした。

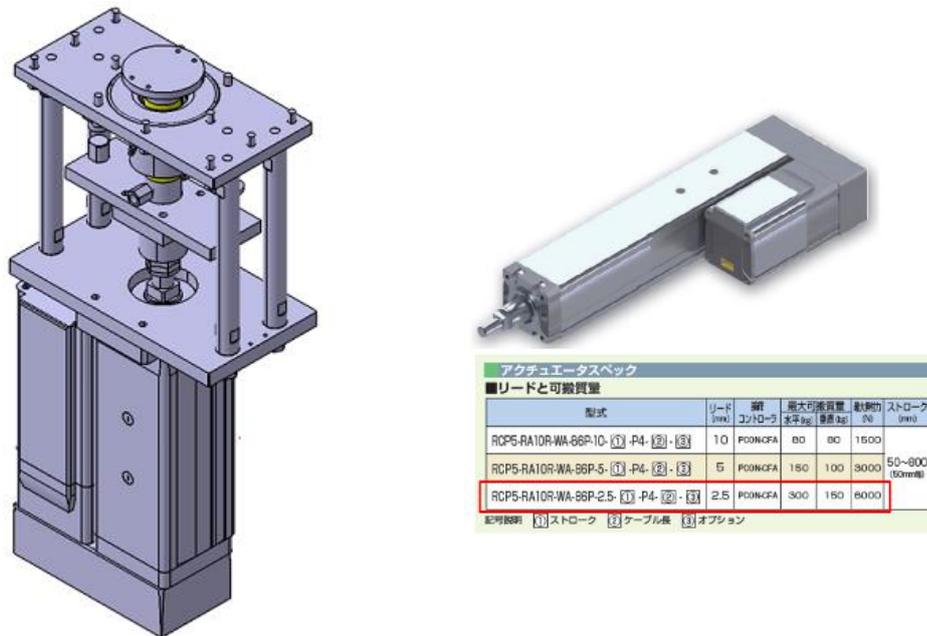


図2-6 電動アクチュエータ式二段階プレス機構

### 第3章 真空内低融点接合プロセスの最適化

#### 3.1 真空加熱封止前後の水晶振動子特性の変化

水晶振動子の真空加熱封止では、加熱にともなってトレイや水晶振動子からの放出ガスが発生し、これは封着材の溶融、濡れ性に影響を与えリーク不良を起こしたり、水晶振動子の周波数ばらつき、CI(クリスタルインピーダンス)値悪化を引き起こしたりすることがある。実験的に変化の少ない条件を選んで最適化しているが、その変化のメカニズムは解明されていない。封止した水晶振動子、接合部を分析、解析することによって、その変化のメカニズムを解明し、真空加熱封止装置にフィードバックすることで真空内低融点接合プロセスを最適化、封止後周波数ばらつきが従来の1/2の高歩留り生産装置を実現させる。

#### 3.2 リッドのアニール処理

水晶振動子の封止前後の周波数変化には、水晶振動子からの放出ガスが影響しており、このとき AuSn リッドが何らかの影響を及ぼしているものと思われる。リッドを事前にアニール処理する効果について検討した。

リッドアニール処理の効果を 1612 サイズの水晶振動子を用いて評価した。リッドのアニールは、トレイに 1612 用リッドのみを搭載して加熱を行い、大気に取り出した後、1612 用封止トレイにパッケージと合わせて移載した。これを、真空加熱封止装置 SLS-401T のリーク検査機構を用いて、封止前の周波数、CI を、真空、及び大気で測定しておき、封止後の周波数、CI 測定結果と比較した。

封止前後の周波数変化を図 3-1 に示す。ともに封止条件は、予備加熱 1、2 がそれぞれ 275°C270s、封止加熱が 310°C90s、リッドアニールは 260°C4hr としている。サンプル数は 104 個である。極端に周波数が増えているものを除くと、封止前後の周波数変化は、アニール無では 6.2~28.9ppm(R=22.7ppm)にばらついているのに対し、リッドのアニール 4hr では、19.7~33.1ppm(R=13.4ppm)に揃っており、ばらつきは 59%に低減している。リッドのアニール処理が封止前後の周波数変化のばらつき抑制に効果があることが分かる。

周波数変化の平均値は、アニール無では 18.6ppm なのに対し、アニール有では 26.4ppm と大きくなっている。アニールによって周波数変化が小さくなってばらつきが抑えられるのではなく、周波数変化量が等しくなればらつきが小さくなっていることが分かる。

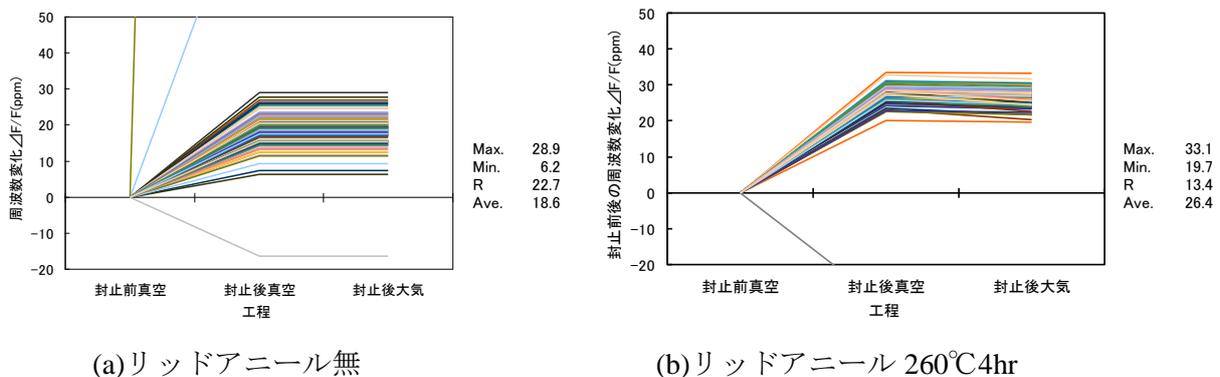


図 3-1 アニールの効果

### 3. 3 CI 値の温度変化

水晶振動子のインピーダンス  $Z$  は気体分子との摩擦によって、圧力  $p$  とともに上昇する。高真空でのインピーダンスを  $Z_0$  としたとき、インピーダンスの上昇分  $\Delta Z = Z - Z_0$  は分子流領域では圧力に比例し、絶対温度  $T$  の平方根に反比例する [9][10]。封止した振動子の場合は容積一定であるから  $p = RT/V$  より、

$$\Delta Z \propto \sqrt{MT} \quad (3. 1)$$

となって、Air のような希ガスでは  $\Delta Z$  は絶対温度  $T$  の平方根に比例する。 $H_2O$  のような測定温度範囲で凝縮性であれば、温度を変化させたとき状態変化に伴って希ガスと異なる温度  $\Delta Z$  変化になる。また、封止前後の  $\Delta Z$  上昇原因が固体の付着によるとき、固体による温度  $\Delta Z$  変化は小さいと考えられる。

実験条件、封止後の CI 値の異なる振動子、及び未封止の振動子について CI 温度特性の比較測定を行った。封止条件を表 1 に、CI 温度特性の測定結果を図 3-2 に、 $-20^\circ\text{C}$  のときの CI 値を基準とした CI 変化  $\Delta Z_i$  を図 3-3 に示す。 $-20 \sim 80^\circ\text{C}$  の CI 温度特性は、未封止の真空中でのものが最も  $\Delta Z_i$  が小さく  $8\text{k}\Omega$  である。この  $\Delta Z_i$  は実験条件によって異なるが、同じ実験の中では同じ変化量となり、実験 2 では No.6、No.8 とともに  $35\text{k}\Omega$  程度、実験 1 では No.2、No.6 とともに  $20\text{k}\Omega$  となっている。封止後の CI 値が  $60\text{k}\Omega$  以下のものは良品となるが、良品でも封止条件によってインピーダンス温度特性は差異が見られ、実験 1 では  $\Delta Z_i$  が  $20\text{k}\Omega$ 、実験 3 では  $11\text{k}\Omega$  となっている。何れも未封止品よりも大きな  $\Delta Z_i$  である。

インピーダンス温度特性は温度とともに上昇していることから、この  $\Delta Z_i$  は内部に閉じ込められた気体によって生じていると考えられる。また、同じ実験条件で  $-20 \sim 80^\circ\text{C}$  の  $\Delta Z_i$  が同じでも、室温での CI 値が異なるものがあることから、封止時の固体付着によるインピーダンス上昇も生じていると考えられる。実験 3 のように中間、封止加熱を短くすることで、AuSn 溶融後の AuSn からの放出ガスがパッケージ内に閉じ込められる量を少なくすることができるが、微量のガスが閉じ込められているものと思われる。

表 3-1 実験条件

	予備加熱 1,2	中間	封止
実験 1	$275^\circ\text{C}$ 300s	$310^\circ\text{C}$ 280s	$310^\circ\text{C}$ 50s
実験 2	$275^\circ\text{C}$ 270s	無	$320^\circ\text{C}$ 270s
実験 3	$275^\circ\text{C}$ 500s	$310^\circ\text{C}$ 20s	$310^\circ\text{C}$ 20s

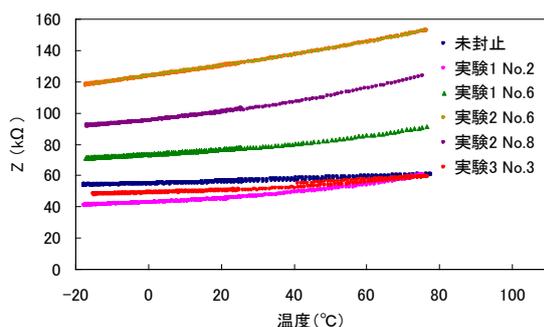


図 3-2 インピーダンス温度特性

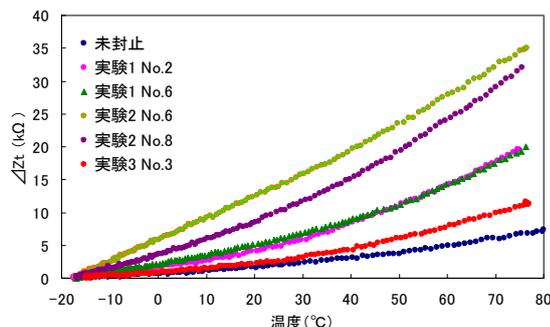


図 3-3  $\Delta Z_i = Z_i - Z_i(-20^\circ\text{C})$

## 第4章 真空中での高速昇温均一加熱ヒータの開発

### 4.1 AIN ヒータ

真空加熱封止ではトレーに搭載した水晶振動子をトレーごと加熱昇温させることによって大量一括処理する。トレー昇温時の昇温速度分布、及びトレー昇温後の温度分布の両方が均一であることが必要となる。接触熱伝達率は接触面の圧力に比例する[7][8]ため、接触面の圧力分布を均一にすることと、接触面の温度分布を均一にすることが重要となる。

BeCu 製ヒータプレートに発熱体としてカートリッジヒータを組み合わせたものでは、トレー昇温時の温度変動が大きい。そこで本研究開発ではワッティ<sup>(株)</sup>の AIN ヒータ、Hi-Watty を採用し、真空加熱封止装置用ヒータを開発することとした。Hi-Watty は、タングステンを発熱体として内部に蛇行配置し、窒化アルミニウムセラミック (AIN) で一体焼結させて面状発熱ヒータとした構造である。AIN はセラミックでありながら金属アルミに近い  $190\text{W/m}\cdot\text{K}$  の高い熱伝導率を持つため、面状ヒータにしたとき、この高い熱伝導率によって面内の均一な温度分布を得ることが可能となる。また、他のセラミックと同様、比抵抗は  $2.6\times 10^{14}\Omega\cdot\text{cm}$  で高い電気絶縁性をもち、熱膨張率は  $4.9\times 10^{-6}\text{C}^{-1}$  と小さく、SUS304 ( $17.3\times 10^{-6}\text{C}^{-1}$ ) の約 1/4 である。発熱体であるタングステンの熱膨張率も  $4.5\times 10^{-6}\text{C}^{-1}$  と AIN と極めて近く、ヒータの昇温、降温時の熱膨張、収縮による発熱体の断線、AIN の破損が生じにくい。このため高速昇温、高速降温が可能で、ヒータ単体では  $100\text{W/cm}^2$  の高い電力密度を得ることができる。

### 4.2 ヒータ構造

AIN ヒータを用いた予備加熱ヒータの構造を図4-1に示す。これは、BeCu 製ヒータプレートで AIN ヒータを挟んだ構造である。加熱時の放出ガスを効率よく排気するため、ヒータプレートにはガス抜き用の溝を設けてあり、トレーの水晶振動子搭載ピッチが異なる場合でも、ヒータプレートを交換することで対応できる。BeCu は  $400\text{C}$  の高温でも使用でき、熱伝導率が  $240\text{W/m}\cdot\text{K}$  と高いため温度分布を均一化させることができるが、熱膨張率が  $17.6\times 10^{-6}\text{C}^{-1}$  と大きい。そこで、AIN ヒータとの間にカーボンシートを挟み、膨張率の差の吸収、及び接触熱伝達率の向上を図っている。

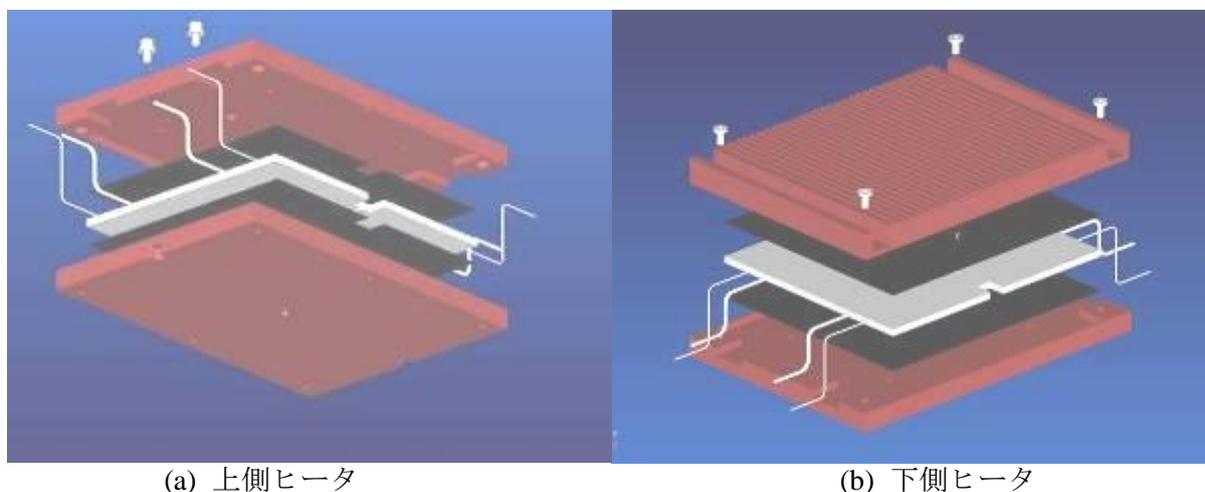


図4-1 ヒータ構造

### 4.3 ヒータ特性

図4-2に、このAlNヒータ単体の温度分布測定結果を示す。これは大気中でサーモグラフィを用いて熱画像としたものである。300℃設定で±3℃の温度分布が得られている。図4-3はAlNヒータを組み込んだBeCuヒータプレート単体の昇温特性で、大気中での測定である。設定温度の250℃まで2minの短時間で到達している。

AlNヒータを組み込んだBeCuヒータプレートを、真空加熱封止装置SLS-401Tの予備加熱上下、及び封止加熱下に搭載した。これらのヒータには、図2-4の均等加圧機構を搭載し、プレス加熱時の押圧分布が均一になるようにしている。

予備加熱の設定温度を275℃としたときのトレー昇温特性を図4-4に示す。予備加熱の設定温度到達まで3分となっており、トレー内の場所による昇温ばらつきも小さい。十分時間経過した後のトレー面内温度分布のばらつきも±2℃が得られている。図4-5に予備加熱ヒータで加熱した後、封止ヒータで加熱したときのトレー昇温特性を示す。封止ヒータの設定温度は320℃である。設定温度まで1分弱、面内温度分布も±1℃と良好な結果が得られている。

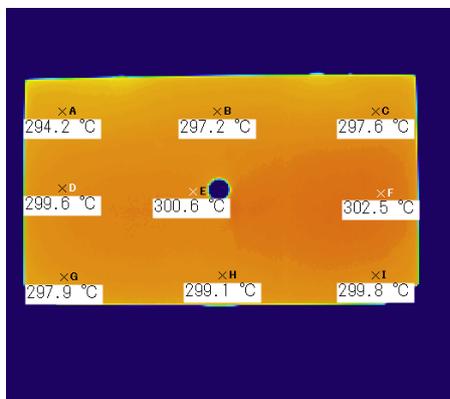


図4-2 AlNヒータの温度分布

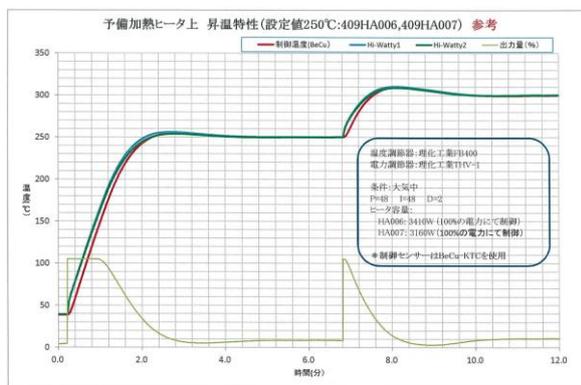


図4-3 BeCuヒータプレートの昇温特性

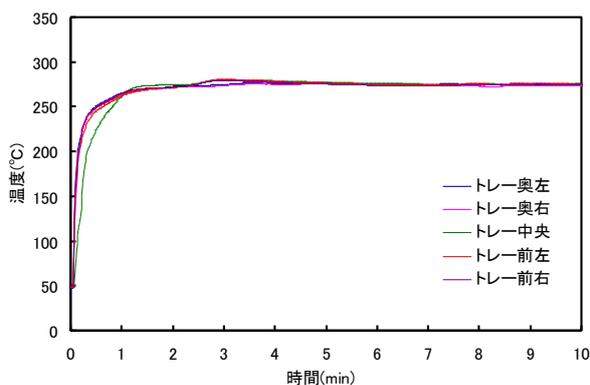


図4-4 予備加熱トレー昇温特性

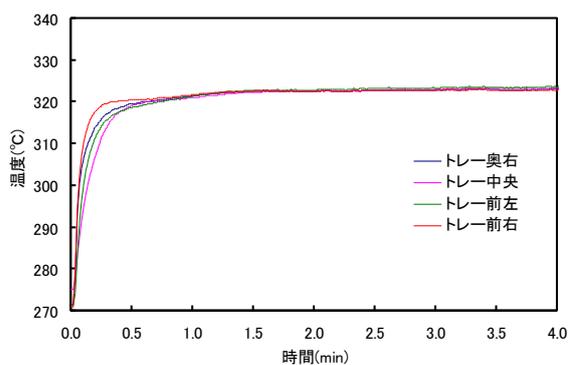


図4-5 封止加熱トレー昇温特性

## 第5章 真空中での部品移載技術の開発

### 5.1 水晶振動子の静電吸着

部品を移載する技術としては、真空吸引が一般的であるが、真空中では使えない。静電チャックはウエーハの搬送用に、広く一般的に使用されているが、微少な水晶振動子を吸着する構造としては不適切である。そこで、周波数測定に使用されているコンタクトプローブ先端に絶縁物をコーティングして静電吸着ピンとした。

水晶振動子の4個のパッドのうち、2個は振動子に接続されるが、残りの2個のパッドはパッケージ内部でリッドシール面に接続され、周波数調整トレーや封止トレーに水晶振動子が搭載されたとき、リッドシール面はトレーに接触し、接地電位となる。そこで、このパッドを用いて水晶振動子を静電吸着することとした。

絶縁物コーティングをPTFE(テフロン)、及びPCTFEとした静電吸着ピンの吸着力測定結果を図5-2に示す。PCTFE品はPTFE品よりも硬く、絶縁耐力は同等であるが、PCTFE品の吸着力はPTFE品の6割程度しかなく、ばらつきも大きい。比誘電率はPCTFEの方が2割ほど大きいいため、膜厚が同じであればPCTFEの方が吸着力は大きくなることから、PCTFEコーティングが、厚く、ばらつきも大きいと考えられる。また、PTFEに比べてPCTFEは表面の凹凸があり、この凹凸の影響も考えられる。

図5-3のように全体を金属で作製し、水晶振動子パッドに相当する部分を凹ませると、エアギャップ式吸着ピンとすることができる。この突起部分は、パッケージのセラミック部分に接触するので絶縁が保たれ高電圧を印加でき、金属であるため樹脂よりも耐磨耗性があり、表面帯電することもない。エアギャップ式吸着ピンの吸着力計算結果は図5-4のようになり、図5-2のPTFE品と同等の吸着力が得られる。

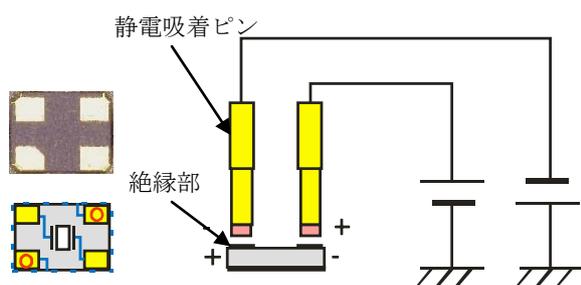
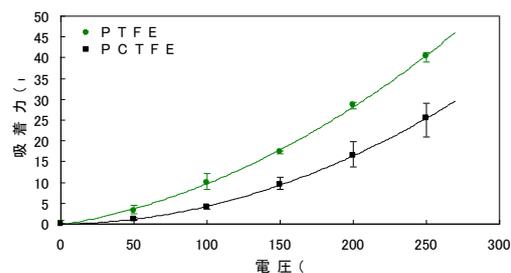


図5-1 水晶振動子の静電吸着原理図



5-2 吸着ピンの吸着力比較

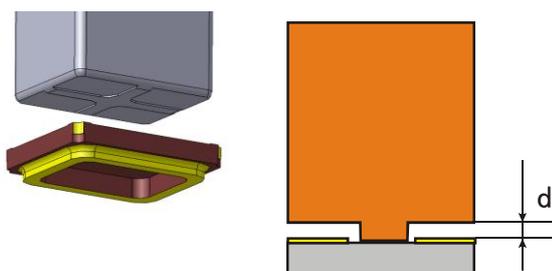


図5-3 エアギャップ式吸着ピン

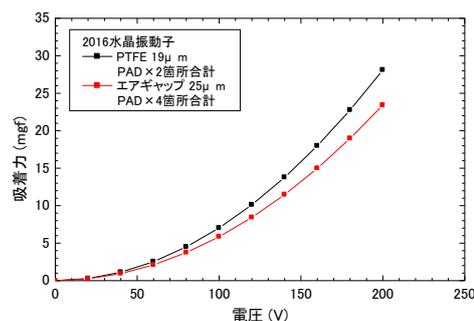


図5-4 吸着力計算結果

## 5. 2 真空移載装置

本装置は周波数調整と真空加熱封止との間の移載工程を真空中で行うことにより、水晶振動子特性の向上を目指すものである。静電吸着ピンによる真空移載を用いて、周波数調整から真空加熱封止までを常に真空中で行うための実験装置（型式：SVT-M01T）を開発した。

### 5. 2. 1 装置構成

図5-5に装置構成、図5-6にレイアウト図を示す。枚葉式の構造で仕込・取出室、搬送室、移載室、排気室、接続室より構成される。装置は周波数調整装置 SFE-B03 と真空加熱封止装置 SLS-401T の間に配置される。トレーの搬送は搬送室に設置された真空ロボットにより行う。枚葉式構成のメリットとして、①搬送機構がシンプルに出来ること。②順次拡張や部分変更が容易で、依頼実験や客先オプションに柔軟に対応できることが挙げられる。

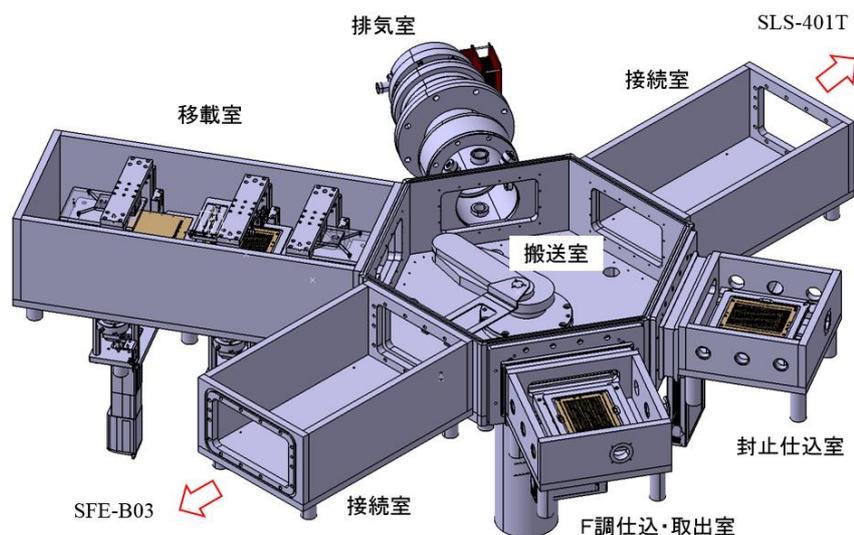


図5-5 装置構成

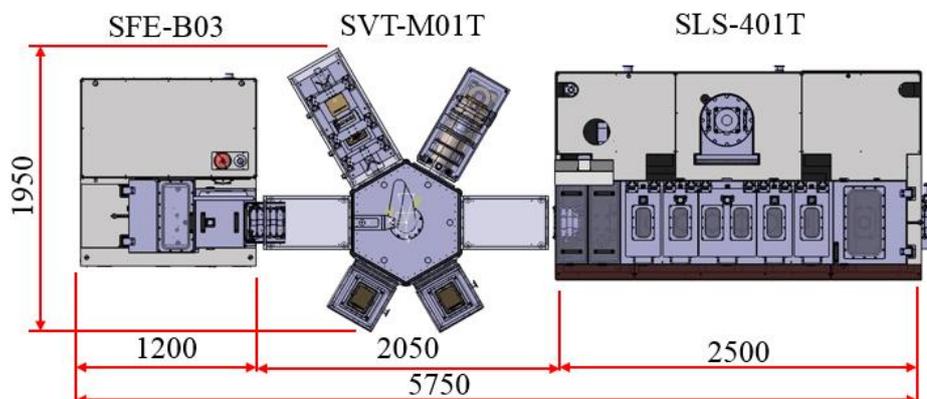


図5-6 レイアウト図

## 5. 2. 2 移載動作

当初、SVT-M01T による移載実験では、印加電圧を高くするにつれて、吸着ミスは減少するが、剥離ミスが増加してしまい、移載成功率は 85%にとどまっていた。そこで、吸着ミス、剥離ミス対策として移載動作の変更を行った。

### (1) 吸着ミス対策；吸着昇降時のトレー近傍での低速動作

吸着した水晶振動子を持ち上げるときに、トレーから離れるまでは低速で上昇させ、その後速度を上げて移載する。

### (2) 剥離ミス対策；剥離動作時の振り落とし動作

剥離動作時にピンを少し (0.2mm) 上昇させトレーを前後に動かし、トレーポケットの淵に水晶振動子を接触させ、吸着したままの水晶振動子を剥離させる。

動作追加後に、PCTFE 静電吸着ピンを使用し、印加電圧 400V、3 個同時移載による評価を実施した。表 5-1 に評価結果を示す。それぞれの実験の移載個数は 24 個で、合計 264 個である。剥離ミス、及び途中落下は 0 個、吸着ミスは 2 個で 0.8%となり、低速上昇、振り落とし動作がともに有効であると考えられる。全体としての成功率は 99.2%で、変更前の成功率 85%と比べ、成功率の向上が確認できた。

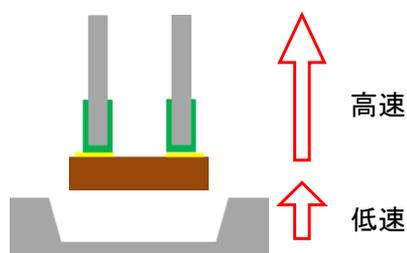


図 5-7 トレー近傍での減速動作

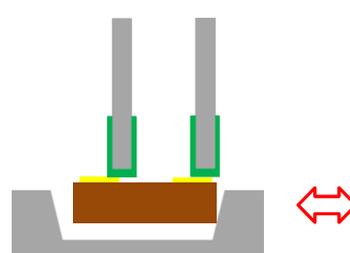


図 5-8 振り落とし動作

表 5-1 移載結果 吸着ピン PCTFE 400V

項目	実験 No.											合計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
雰囲気	真空	真空	大気	真空	真空	大気	真空	真空	N2	N2	N2	
処理数	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	264
成功	24	24	23	24	24	24	24	24	24	24	23	262
吸着ミス	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2
途中落下	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
剥離ミス	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
成功率(%)	100	100	95.8	100	100	100	100	100	100	100	95.8	99.2

## 第6章 周波数調整-加熱封止の真空一貫処理

### 6. 1 周波数調整-加熱封止の真空一貫処理実験

本研究開発では、大気に曝すことなく、周波数調整から封止工程まで一貫して真空中で処理することによって、酸化、吸着、埃の影響を抑え、最適化した封止プロセスと合わせることで、封止後周波数ばらつきが従来の1/2となる真空加熱封止装置を開発することを目指している。周波数調整装置 SFE-B03、真空移載装置 SVT-M01T、及び真空加熱封止装置 SLS-401T の3装置をドッキングし、真空一貫処理の有効性を検証した。

### 6. 2 実験方法

図6-1の真空移載ラインを用いて周波数調整、移載、封止の真空一貫処理評価を行った。実験の流れは、①事前にリッド、パッケージを別の加熱装置にて脱ガス処理（アニール）、②処理後のパッケージとリッドを周波数調整トレー、及び封止トレーに手作業にて移載、③SFE-B03にて周波数調整および後検査、④SVT-M01Tにて真空または大気移載、⑤SLS-401Tにて封止、⑥封止後の水晶振動子を周波数調整トレーに手作業にて移載、⑦SFE-B03にて連続測定で大気および真空中で周波数、CIを計測となる。

実験条件を表6-1に示す。1回の実験で2016サイズの水晶振動子24個の処理を行い、移載を真空中で行った場合と大気中で行った場合、ガス放出処理後可能な限り短時間（15分）で実験開始した場合と、一定時間（90分）置いた場合の4パターンを、それぞれ3回繰り返し比較した。その他、封止の条件（加熱温度、時間）は4パターン共通である。



図6-1 真空移載ライン外観写真

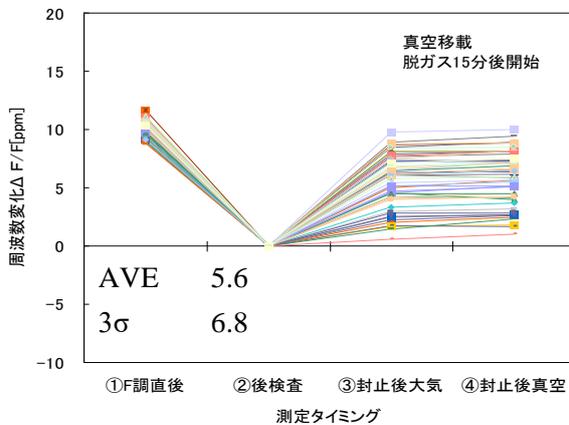
表6-1 実験条件

項目	実験①	実験②	実験③	実験④
ワークサイズ	2016	←	←	←
ターゲット周波数	47.96MHz	←	←	←
電極材質	Au	←	←	←
処理数	24個	←	←	←
予備1 温度/時間	275°C/500S	←	←	←
予備2 温度/時間	275°C/500S	←	←	←
封止寸止	310°C/40S	←	←	←
封止	310°C/40S	←	←	←
冷却 水温/時間	22°C/270S	←	←	←
室温/湿度	37°C/22%	36°C/24%	36°C/24%	37°C/22%
PKG/Lid ガス放出処理	アニール260°C4H	←	←	←
処理後大気放置時間	15min	15min	90min	90min
移載時圧力	真空 (1.5E-2Pa)	大気	真空 (1.0E-2Pa)	大気

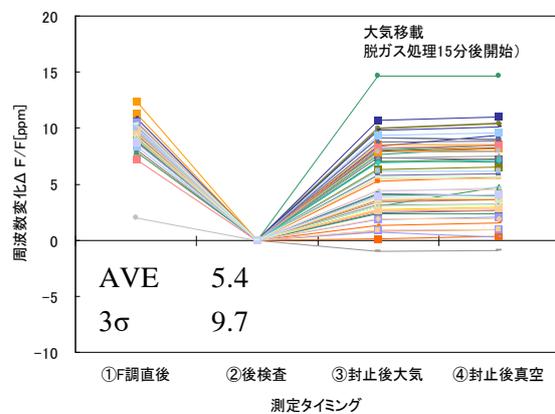
### 6. 3 実験結果

実験結果を図6-2に示す。これは水晶振動子の周波数変化を示し、①周波数調整直後、②後検査（周波数調整後90秒後に測定）、③封止後大気中、及び④封止後真空中で測定したものである。②の後検査での測定値を基準とし、封止後の周波数変化を比較した。周波数の計測は全て周波数調整装置SFE-B03で行った。(a)及び(b)は脱ガス処理後の大気放置15分後に周波数調整を開始したもので、(c)及び(d)は脱ガス処理後の大気放置90分後に周波数調整を開始したものである。また、(a)及び(c)は真空移載、(b)及び(d)は大気移載である。

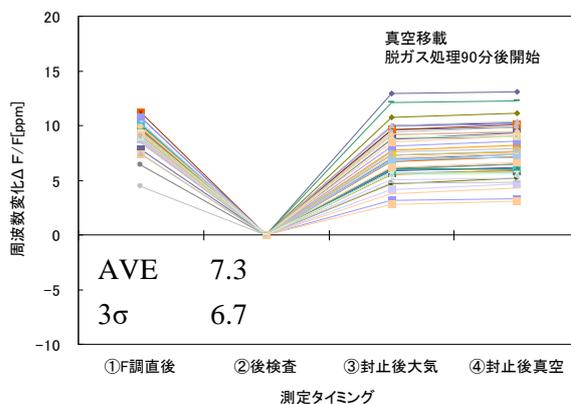
(a)及び(b)の大気放置15分後の場合、封止後大気での測定結果は、真空移載での周波数ばらつき $3\sigma$  6.8ppmに対し、大気移載では $3\sigma$  9.7ppmとなり、真空移載の方が大気移載よりもばらつきが少ない。(c)及び(d)の大気放置90分後に実験開始した場合は、真空移載では $3\sigma$  6.7ppmで(a)と同等であるが、大気移載では $3\sigma$  13.5ppmで最も大きなばらつきとなった。また、(d)の大気放置90分後では、封止後に周波数が低くなるものが、多く見られており、放出ガスの影響で加熱封止によって周波数低下が生じていると考えられる。図3-1(a)の脱ガス処理無の場合の封止後の周波数ばらつきは14ppmであり、真空一貫処理による周波数ばらつきは、従来の1/2に相当している。



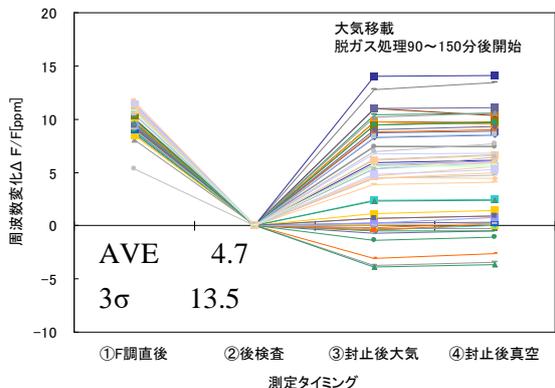
(a) 大気放置 15 分真空移載



(b) 大気放置 15 分大気移載



(c) 大気放置 90 分真空移載



(d) 大気放置 90 分大気移載

図6-2 実験結果

## 第7章 全体総括

関東経済産業局の委託により平成 25、26、27 年度戦略的基盤技術高度化支援事業における 3 年間の研究成果を総括する。

### 7. 1 研究開発の概要

#### 7. 1. 1 プロジェクト名

極小化に対応した水晶振動子真空移載・加熱封止装置の研究開発  
(呼称：VTP プロジェクト)

#### 7. 1. 2 研究組織

事業管理者：タマティーエルオー株式会社

再委託先：株式会社昭和真空、ワッティ株式会社、国立大学法人群馬大学

PL：高橋 理（株式会社昭和真空 取締役技術本部長）

SL：荘司郁夫（国立大学法人群馬大学 理工学研究院 教授）

アドバイザー：渡部泰明（公立大学法人首都大学東京大学院 理工学研究科教授）

石井浩（三生電子㈱ 技術統括執行役員）、小谷田博章（筑波精工㈱ 技術部課長）

#### 7. 1. 3 研究背景と目的

水晶振動子は他に類を見ない極めて良好な周波数安定度を持ち、その特徴を最大限生かすため、個々の周波数偏差を極力小さくするように、その製造工程が発展してきた。また、他の電子部品同様、高精度化とともに小型低背化、低価格化が進んでいる。

ところが、現在主流であるシーム溶接封止では、極小化対応が困難であり、また個別処理であるためタクトタイムの短縮にも限界がきている。さらに、真空中で周波数調整した後、周波数調整用トレーから封止用トレーへの移載を大気中で行い、再び真空にしてから封止を行っているため、周波数ばらつきの悪化、封止不良の原因となって歩留まりが悪化していた。

そこで、本研究開発では、周波数調整から封止工程まで大気に曝すことなく一貫して真空中で処理し、更に封止プロセスを最適化することで高品質化し、多数一括処理することで高い生産性を得る高歩留まりの装置を開発することを目的とした。

#### 7. 1. 4 研究開発実施内容

本研究で開発する新型の真空加熱封止装置は、

- 1) タクトタイム；0.4s/個
- 2) 周波数ばらつき； $\pm 5 \sim 15$ ppm
- 3) トレー昇温時間；4min
- 4) 移載方式；真空

を目標とし、これを実現するため以下の個別テーマを設定し研究開発を行った。

##### (1) 高歩留まり封止装置の開発

ベースとなる真空加熱封止装置を試作し、真空中での高速昇温均一加熱技術、パッケージ内高真空維持技術、及び真空内低融点接合プロセスの最適化を検討することで、月産 400 万個可能なタクトタイム 0.4s/個と封止後周波数ばらつきが従来の 1 / 2 となる高歩留り生産が可能な水晶振動子真空封止技術の開発を行った。

##### (1. 1) 新規真空加熱封止装置の開発

タクト 0.4s/個、封止後周波数ばらつきが従来の 1 / 2 となる真空加熱封止装置を開発する

ため、新規に真空加熱封止装置を試作し、高速昇温均一加熱機構、加熱時の放出ガス対策によるパッケージ内高真空維持技術、接合プロセスの最適化を検討した。

#### (1. 2) 真空内低融点接合プロセスの最適化

水晶振動子は封止を行った後で、周波数、CI値などその特性が変化することがあり、その変化のメカニズムを水晶振動子、接合部、及び内部の分析を行うことで解明し、真空内低融点接合プロセスの最適化を行った。

#### (2) 真空中での高速昇温均一加熱技術の開発

トレーに搭載した水晶振動子をトレーごと加熱昇温させることによって大量一括処理する。したがってトレー内の温度を効率よく短時間で均一に昇温させることが重要であり、これを実現させるために、AINヒータを採用し、トレー昇温時のヒータブロックの温度変動を低減させ、均等加熱機構により、トレー昇温時間4min以内を実現した。

#### (3) 真空中での部品移載技術の開発

##### (3. 1) ピックアップ方式の検討

真空中で周波数調整トレーより水晶振動子をピックアップし、大気中移載でのパッケージとリッドの位置決め精度：2/100～3/100mmと同等で封止用トレーに移載する方式を検討した。

##### (3. 2) 移載装置

上記真空移載方式を搭載した装置を試作し、ピックアップ、位置決め精度の信頼性、再現性の向上を行った。また、周波数調整装置、真空移載装置、及び真空加熱封止装置の3装置をドッキングし、真空一貫ラインを形成した。周波数調整から封止まで真空中で一貫処理した水晶振動子特性の評価を行い、真空一貫処理の有効性を検証した。

## 7. 2 三年間の研究開発成果

### 7. 2. 1 高歩留まり真空加熱封止装置の開発

月産400万個可能なタクトタイム0.4s/個と封止後周波数ばらつきが従来の1/2を実現するため、ベースとなる真空加熱封止装置を、新規に設計・製作し、評価・改良を行った。装置の基礎特性として、ヒータ特性、搬送系の信頼性、及び水晶振動子真空加熱封止について評価・改良を行い、トラブル無し連続搬送枚数は目標とする実稼働の80時間、8時間稼働の2週間(10日)に相当する1067枚を超える連続搬送ができた。封止加熱時に一旦ヒータプレートを中間位置で停止し、ガス放出を促進する二段階プレス機構を追加した。

### 7. 2. 2 真空内低融点接合プロセスの最適化

水晶振動子の真空加熱封止では封止後に周波数が変化することがあり、そのメカニズムを解明するため、水晶振動子の開封分析した結果、微量ながらSnが検出され、封止時にAuSnが飛翔して、水晶振動子電極に付着することによって、周波数低下が生じている可能性がある。また、リッドアニール処理の効果について検討し、リッドアニール処理によって封止前後の周波数変化量が等しくなればばらつきが小さくでき、アニール無に比べて6割程度のばらつきに低減できることが分かった。音叉型水晶振動子のCI圧力特性、CI温度特性の測定により、封止時のCI上昇には、気体の封入とともに固体付着が生じていることが分かった。

### 7. 2. 3 真空中での高速昇温均一加熱ヒータの開発

真空中での高速昇温均一加熱ヒータを開発するためAINヒータ、Hi Wattyを採用し、AINヒータを組み込んだBeCuヒータプレートを、真空加熱封止装置に搭載した。AINヒータを

組み込んだ BeCu ヒータプレート単体の大気中昇温特性では設定温度の 250℃まで 2 分、トレイ昇温特性も予備加熱の設定温度到達まで 3 分、トレイ面内温度分布のばらつきも±2℃が得られ、封止ヒータでのトレイ昇温特性も設定温度まで 1 分弱、面内温度分布も±1℃と良好な結果が得られた。

#### 7. 2. 4 真空中での部品移載技術の開発

微少な水晶振動子の移載を行うため、周波数測定に使用されているコンタクトプローブ先端を絶縁物コーティングして静電吸着ピンを形成し、水晶振動子のパッドを静電吸着させる方式とした。これを用いた真空移載装置を製作し、真空移載が可能となり、移載成功率 99% を達成した。

#### 7. 2. 5 周波数調整-加熱封止の真空一貫処理

周波数調整装置 SFE-B03、真空移載装置 SVT-M01T、及び真空加熱封止装置 SLS-401T の 3 装置をドッキングし、真空一貫ラインを形成した。周波数調整から封止まで真空中で一貫処理した水晶振動子特性の評価を行い、真空一貫処理の有効性を検証した。

封止後の周波数変化は、移載条件とガス放出処理後の放置時間の両方が影響しており、短い大気放置時間で、大気に曝すことなく、周波数調整から封止工程まで一貫して真空中で処理することによって、封止後周波数ばらつきを従来の 1 / 2 に低減できることを確認した。

#### 7. 2. 6 工業所有権

1 件の特許を出願した。

特願 2016-053810

発明の名称：電子部品の移載方法および装置

発明の概要：静電吸着ピンによる真空移載、エアギャップ式吸着ピン

#### 7. 3 研究開発後の課題・事業展開

本研究開発後の課題として、以下が上げられ、今後も継続して取り組んでいく。

##### ①真空環境下一貫処理での再現性・信頼性評価

- ・プロセス開発の継続
- ・タクト短縮
- ・サンプル数の増加

##### ② 真空移載のタクト短縮と信頼性向上

- ・吸着ピン形状
- ・絶縁物の耐久性

事業展開として、本研究で開発した高速昇温ヒータ、均等加圧機構、封止プロセスを搭載した真空加熱封止装置を H28 年 4 月より販売開始し、3 台/年を目標とする。また、本研究で開発した静電吸着ピンを搭載した真空移載装置を H28 年 10 月より販売開始し、3 台/年を目標とする。

#### 7. 4 おわりに

平成 25、26、27 年度の 3 年間にわたり、タマティーエルオー(株)の管理法人、及び高橋理(株)昭和真空技術本部長の PL、荘司郁夫国立大学法人首都群馬大学教授の SL の下に研究開発を進めてきた。本研究開発を委託された関東経済産業局、アドバイザーとして貴重なアドバイスを頂いた、渡部泰明公立大学法人首都大学東京教授、石井浩三生電子(株)技術統括執行役員、小谷田博章筑波精工(株)技術部課長、及びご関係各位に厚くお礼を申し上げます。

## 参考文献

- [1] 「水晶振動子とその使い方 トリケップス技術資料集 第57号」 pp1 (株)トリケップス
- [2] 塩野忠久 「水晶振動子の周波数調整に関する研究」 博士論文 pp4-5,pp72-180  
2008年3月
- [3] 「調査研究レポート No.80 2011.1」 日本水晶デバイス工業会
- [4] 電波新聞 2011年1月31日付 4面 (株)電波新聞社
- [5] 日本水晶デバイス工業会技術委員会編「水晶デバイスの解説と応用」 2012.3. 日本水晶デバイス工業会
- [6] 渋谷和明：やさしい水晶のおはなし，電気書院，(2005)
- [7] L. Otto ‘Untersuchungen zur Frage der Erwärmung elektrischer Maschinen’ Forsch. Heft Nr. 35/36 V.D.I. 1906.
- [8] 築添正，久門輝正，金属接触面の伝熱機構（第2報，真空中の接触熱抵抗）日本機械学会論文集 37(299), 1369-1377, July 1971
- [9] 国分清秀，平田正紘，小野正敏，村上寛，戸田義継，「水晶振動子を用いた摩擦真空計の理論」，真空 29 (1986) 2 pp101
- [10] 国分清秀，平田正紘，小野正敏，「水晶摩擦真空計と粘性真空計の理論」，真空 30 (1987) 9 pp707