

平成26年度ものづくり中小企業・小規模事業者等連携事業創造促進事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

モバイル機器の小型高性能化に対応した

ドライエッチング加工を用いた小型水晶振動子の製作技術の開発

研究開発成果等報告書

平成27年 3月

委託者 九州経済産業局

委託先 九州電通株式会社

目次

第1章 研究開発の概要

1 - 1. 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1 - 2. 研究体制	3
1 - 3. 成果概要	7
1 - 4. 当該研究開発の連絡窓口	8

第2章 本論

第1節 小型水晶板に対するドライエッチング方法課題への対応

1 - 1. ドライエッチング条件の最適化	
1 - 1 - 1. ドライエッチング条件検討	9
1 - 1 - 2. プラズマエッチング装置設計、作製	11
1 - 1 - 3. ドライエッチング条件の最適化	12

第2節 発振周波数測定方法課題への対応

2 - 1. 自動測定装置の設計	15
2 - 2. 測定電極の設計	16

第3節 加工表面の観察、測定方法課題への対応

3 - 1. 加工表面の形状分析	
3 - 1 - 1. 加工表面の観察	17
3 - 1 - 2. 断面形状観察、測定	17
3 - 1 - 3. 表面粗さ測定	18

第4節 高周波小型水晶振動子の設計課題への対応

4 - 1. 高周波小型水晶振動子の設計	
4 - 1 - 1. 高周波小型水晶製品の設計、作製	19
4 - 1 - 2. 電気的特性測定、信頼性試験の確認	19

第3章 全体総括

3 - 1. 研究開発の成果	21
3 - 2. 研究開発後の課題	22
3 - 2. 事業化展開	22

第1章 研究開発の概要

1 - 1. 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究開発の背景

情報通信機器業界では、クラウドコンピューティングの急拡大によりスマートフォンやタブレット型PCなどに代表されるモバイル端末機器の普及やサーバー自体も低価格化やダウンサイジングにより企業だけではなく家庭内にまで情報ネットワークの普及が進んでいる。

現代の電子機器には欠かすことのできない高周波回路にて GHz 帯の高周波を必要とする時、高い周波数精度の発振の基準信号源として水晶振動子を用いて、発振周波数を通倍や PLL 回路と組み合わせて増幅して得られている。しかし通信インフラに用いられる高性能な機器の高周波回路では雑音特性を押える必要があり、その対策として水晶振動子の発振で基本波発振を用いて高周波化することで、雑音の発生を押えることが可能となる。今まで高性能高周波発振回路は基地局や大規模サーバー、スーパーコンピューターといった比較的大型の高性能電子機器に対して求められてきた。しかし、情報通信機器としての高性能製品の小型化が進み、データ量としては映像配信の普及など情報量が増加した上でモバイル機器などの小型製品の高速度通信が普及しているため、高周波回路を組み込んだ製品の高性能小型化が進んできている。よって基準信号源である水晶振動子においても、小型製品の高性能化に向けた基本波での高周波化と小型化の両立が行われてきたが、水晶振動子に使用されている小型水晶板の加工精度が低く、小型製品に対する基本波での周波数の高周波化ができなかった。

このため、発振回路の高性能高周波小型化に向けた研究が行われてきたが、現状では水晶振動子の基本波発振による高周波小型化の点において小型水晶板に対するドライエッチング方法課題、発振周波数測定方法課題、加工表面の観察、測定方法課題、高周波小型水晶振動子の設計課題が生じている。

弊社では研究開発を重ねてきた水晶体のエッチング加工法（特許取得 第 3492933 号）であるドライエッチング技術を用いて、平坦化を重視した薄板化加工を狭領域のエッチング加工に対応できる技術へ高度化し、水晶振動子の設計、製造技術の高度化を行うことで、これらの課題を解決し、モバイル機器などの小型高速大容量通信機器に用いられる高性能高周波発振回路の基準発振源となりうる基本波による高周波小型水晶振動子の設計とドライエッチング加工の高度化開発を行う。

(2) 研究目的及び目標

情報通信機器産業では機器の大容量高速通信・小型化により、高周波回路も高性能小型化が求められている。高周波回路の雑音問題を押えるためには内部水晶振動子の基本波による高周波化が必要となる。これらの高周波回路を高性能小型化するため、水晶振動子を基準信号とする現在、基準信号源である基本波による高周波化と小型化の両立を可能とするドライエッチング技術を高度化し、高周波小型水晶振動子の製作技術を確立することを目的とする。

本研究開発において、下記項目を行った。

【1. 小型水晶板に対するドライエッチング方法課題への対応】

【1-1】ドライエッチング条件の最適化

水晶板のマグネトロンプラズマによるドライエッチング技術を利用して、従来の水晶板より、さらに小型水晶板のエッチング狭領域の薄板化と平滑化に対応できるように、真空圧、磁束密度等のプロセス全体で整合性を求めた装置製作を行う。

また、エッチング条件の最適化を行うことで、エッチングレートを 10nm/min 以上、従来水晶板の加工数量約 60pcs に対して、同一加工工程において約 10 倍（約 600pcs）の加工数量の増加を確保する。

【2. 発振周波数測定方法課題への対応】

【2-1】自動測定装置の設計

ギャップ式電極によるネットワークアナライザを使用した水晶板の発振周波数測定技術のノウハウを用いて新たに小型水晶板用発振周波数測定装置の製作を行う。

また、水晶板の小型薄板化により搬送時の吸着にて破損しやすい水晶板搬送部を最適化し、搬送時の破損率を 5%以下へ低減を図る。

【2-2】測定電極の設計

電極ギャップ式の発振法による周波数測定において測定電極を小型水晶板のエッチング領域内で、発振周波数を測定する測定電極の最適化を行い、周波数測定エラーを 5%以下への低減を図る。

【3. 加工表面の観察、測定方法課題への対応】

【3-1】加工表面の形状分析

形状測定技術の測定精度を向上させ、小型水晶板に対してドライエッチングの条件ごとに表面状態を確認し、1 μ m レベルでの形状の観察、測定ができる測定条件及び表面粗さの評価については、0.5 μ m レベルでの分析技法を確立する

【4. 高周波小型水晶振動子の設計課題への対応】

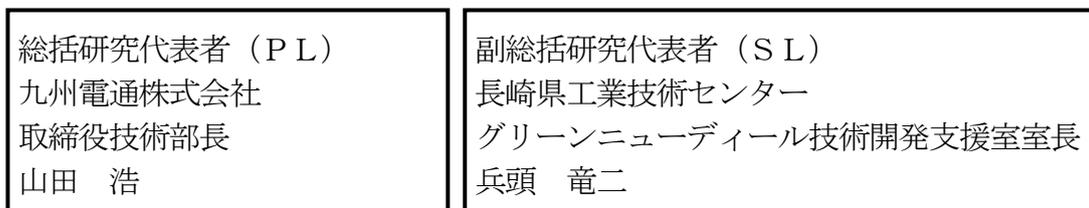
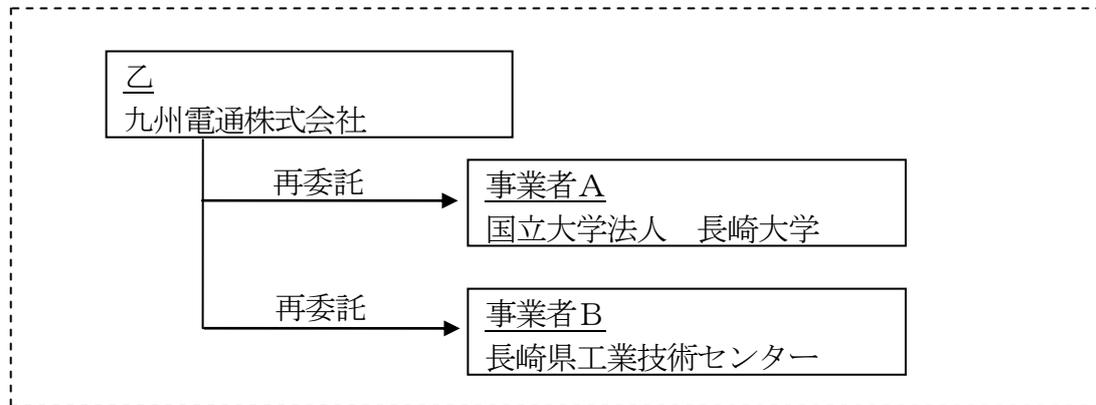
【4-1】高周波小型水晶振動子の設計

小型水晶板用プラズマエッチング装置システムを用いて、高周波小型水晶振動子用水晶板を作製し、高周波小型水晶振動子を作製する。製品作製後、発電的特性の確認として製品標準仕様の目標である周波数温度特性 ± 50 ppm（ $-10^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$ ）、クリスタルインピーダンス 50 Ω (max)の確認及び信頼性試験を行い、製品化を行う。

1 - 2. 研究体制

(1 - 2 - 1) 研究組織及び管理体制

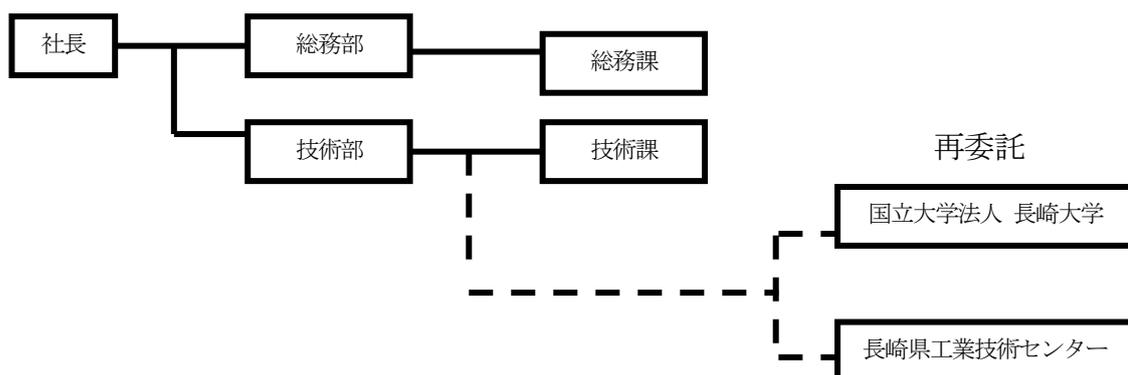
1) 研究組織 (全体)



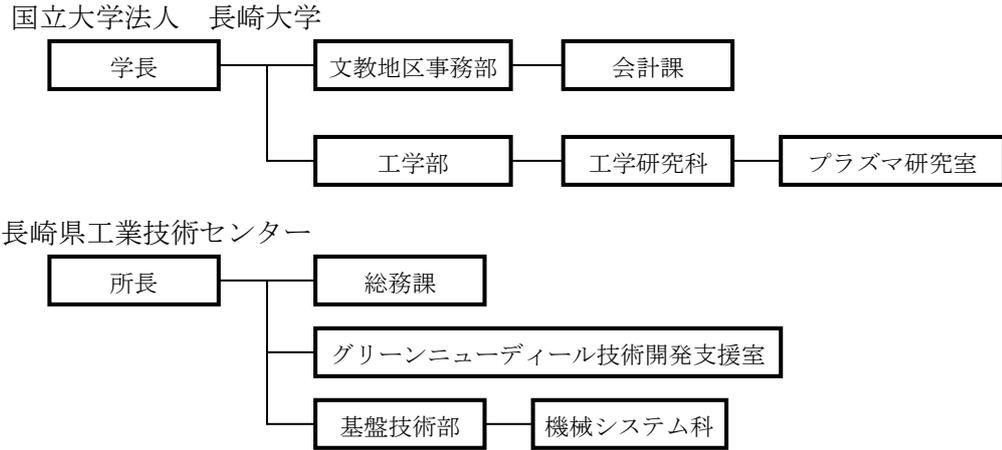
2) 管理体制

①事業管理機関

[九州電通株式会社]



② (再委託先)



(1 - 2 - 2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 九州電通株式会社

①管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
山田 浩	取締役技術部長	【5】
小宮 秀彰	総務課長補佐	【5】
中尾 梓	総務部員	【5】

②研究員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
山田 浩(再)	取締役技術部長	【1 - 1】 【2 - 1】
基 誠	技術課長補佐	【2 - 2】 【4 - 1】
三浦 一郎	技術部員	【2 - 1】 【2 - 2】 【4 - 1】
藤丸 高志	技術部員	【1 - 1】 【4 - 1】
小篠 一義	技術部員	【2 - 1】 【2 - 2】 【4 - 1】
杉原 英昭	技術部員	【1 - 1】 【4 - 1】
酒井 英次	技術課長補佐	【4 - 1】
松尾 一人	技術主任	【4 - 1】

【再委託先】※研究員のみ

国立大学法人 長崎大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
藤山 寛	大学院工学研究科 教授	【1 - 1】【4 - 1】

長崎県工業技術センター

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
馬場 恒明	所長	【3 - 1】【4 - 1】
兵頭 竜二	グリーンニューディール開発支援室 室長	【3 - 1】【4 - 1】
小楠 進一	基盤技術部機械システム科 主任研究員	【3 - 1】【4 - 1】

(1 - 2 - 3) 経理担当者及び業務管理機関の所属、氏名

(事業管理機関)

九州電通株式会社

(経理担当者)	総務課長補佐	小宮 秀彰
(業務管理者)	取締役技術部長	山田 浩

(再委託先)

国立大学法人 長崎大学

(経理担当者)	文教地区事務部会計課 課長	土橋 一徳
(業務管理者)	大学院工学研究科 教授	藤山 寛

長崎県工業技術センター

(経理担当者)	総務課専門幹	堤 昭典
(業務管理者)	所長	馬場 恒明

(1 - 2 - 4) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

推進委員会委員
(外部推進委員)

氏名	所属・役職	備考
原川 光司	株式会社ニッポンインダストリーズ 取締役	アドバイザー

(内部推進委員)

氏名	所属・役職	備考
山田 浩	九州電通株式会社 取締役技術部長	PL
兵頭 竜二	長崎県工業技術センター グリーンニューディール技術開発支援室 室長	SL
基 誠	九州電通株式会社 技術課長補佐	委
三浦 一朗	九州電通株式会社 技術部員	委
藤丸 高志	九州電通株式会社 技術部員	委
小篠 一義	九州電通株式会社 技術部員	委
藤山 寛	国立大学法人長崎大学 大学院工学研究科 教授	
馬場 恒明	長崎県工業技術センター 所長	
小楠 進一	長崎県工業技術センター 基盤技術部 機械システム科 主任研究員	

1 - 3. 成果概要

本事業において、小型高周波用プラズマエッチング装置システムを用いた高周波小型水晶板の製作技術を構築し、高周波小型水晶製品の製品化に成功した。

各課題についての成果を下記に示す。

【1. 小型水晶板に対するドライエッチング方法課題への対応】

【1-1】ドライエッチング条件の最適化

マグネトロンプラズマによるドライエッチング技術を利用した小型水晶板用プラズマエッチング装置を設計、製作した。また、真空圧、磁束密度等のエッチング条件の最適化より、目標である

同時加工数 : 600pcs 以上

エッチングレート : 10nm/min 以上

を達成した。

【2. 発振周波数測定方法課題への対応】

【2-1】自動測定装置の設計

ギャップ式電極によるネットワークアナライザを使用した水晶板の周波数測定技術を用いた小型水晶板用発振周波数測定装置を製作し、プラズマエッチング装置、発振周波数測定装置、搬送ロボットからなる小型水晶板用プラズマエッチング装置システムを作製し、加工から周波数分類まで搬送の自動化を行った。

また、発振周波数測定装置の搬送部を最適化し、搬送時の破損率を目標である

水晶板破損率 : 5%以下

を達成した。

【2-2】測定電極の設計

発振周波数測定において測定電極の最適化し、測定エラー発生率を目標である、

測定エラー発生率 : 5%以下

を達成した。

【3. 加工表面の観察、測定方法課題への対応】

【3-1】加工表面の形状分析

形状測定技術の測定精度を向上させ、小型水晶板に対してドライエッチングの条件ごとの表面状態の確認に対し、

- ・エッチング加工部の表面形状観察：走査電子顕微鏡、白色干渉計の利用
- ・エッチング加工部の断面形状観察：イオンミリングによる断面形状作製後、走査電子顕微鏡による観察手法
- ・エッチング加工部の断面形状測定：非接触三次元測定機を用いた手法
- ・エッチング加工部の表面粗さ測定：表面形状粗さ測定機を用いた手法

の各手法により、目標である $1\mu\text{m}$ レベルでの形状の観察、測定ができる測定条件及び表面粗さの評価については、 $0.5\mu\text{m}$ レベルでの分析技法を確立した。

【4. 高周波小型水晶振動子の設計課題への対応】

【4-1】高周波小型水晶振動子の設計

小型水晶板用プラズマエッチング装置システムを用いて、以下の高周波小型水晶板を作製した。

・3.2m×2.5mm 水晶振動子 122.880MHz 用

・3.2m×2.5mm 水晶発振器 212.500MHz 用

高周波小型水晶板より製品作製後、電気的特性試験を行い、電気的特性の標準仕様である、

・周波数温度特性 : ±50ppm (−10°C~+70°C)

・クリスタルインピーダンス : 50Ω(max)

を満足した。また、信頼性試験を行い、電気的性能、外観、構造、環境試験、信頼性試験の各試験において、製品として問題が無いことを実証した。

以上より、高周波小型水晶製品の製品化を達成した。

1 - 4. 当該研究開発の連絡窓口

〒856-0006

長崎県大村市福重町340

九州電通株式会社

取締役技術部長 山田 浩

TEL : 0957-55-1313

FAX : 0957-27-4018

E-mail : hyamada@kdk-group.co.jp

第2章 本論

第1節 小型水晶板に対するドライエッチング方法課題への対応

1 - 1. ドライエッチング条件の最適化

1 - 1 - 1. ドライエッチング条件検討

マグネトロンプラズマを用いた水晶板のドライエッチング加工の概要を図 2-1 に示す。プラズマ放電は電子が磁力線からのローレンツ力により捕捉され、電極近傍にプラズマを生成する電界Eとそれに直行する磁界Bを印可することで、荷電粒子の $E \times B$ ドリフトの軌跡は電極を取り囲むような無限軌道となり高密度プラズマを生成する。マグネトロンプラズマを用いたドライエッチング方法は図 2-1(a)のように、外部磁界を用いた平板型マグネトロンプラズマ装置で、真空チャンバー内にエッチングガス (CF_4) 添加ガス (Ar) を導入して、電極に高周波電力 (RF 電力) を印可することにより、電子が電極の周りを回転運動行うことで高密度プラズマを生成させ、水晶板 (SiO_2) のエッチングを行う。

水晶板の反転メサ構造を図 2-2 に示す。水晶板の周波数は (式.1) に示すように水晶板の厚みに反比例するため振動体となる水晶板中央部分のみを薄板化を行い、水晶板の機械的強度を保つ反転メサ構造の水晶板の作成を行い、高周波小型水晶板を製作する。

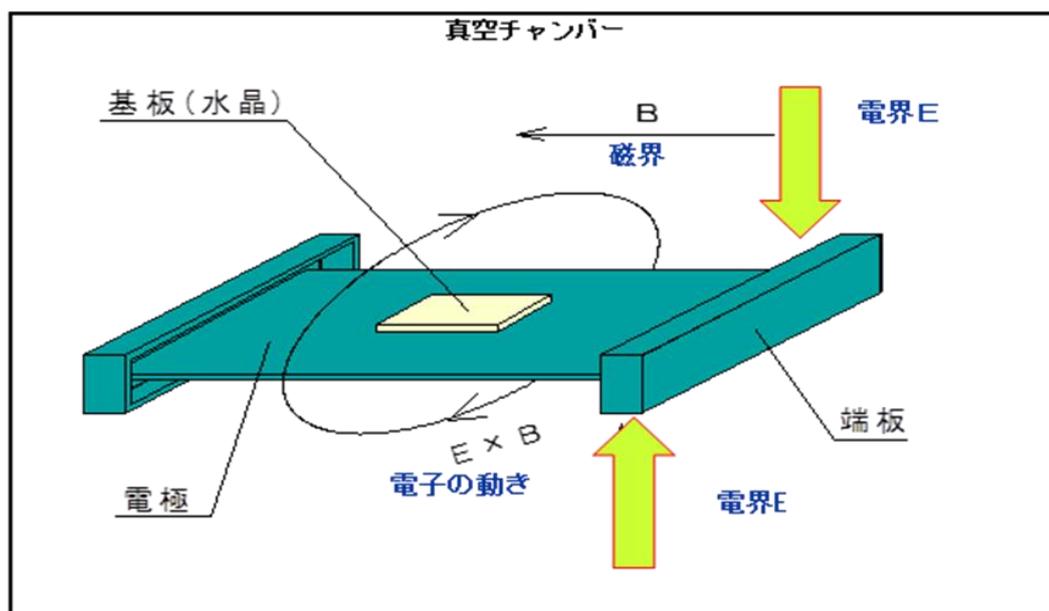


図 2-1 マグネトロンプラズマを用いたドライエッチング方法

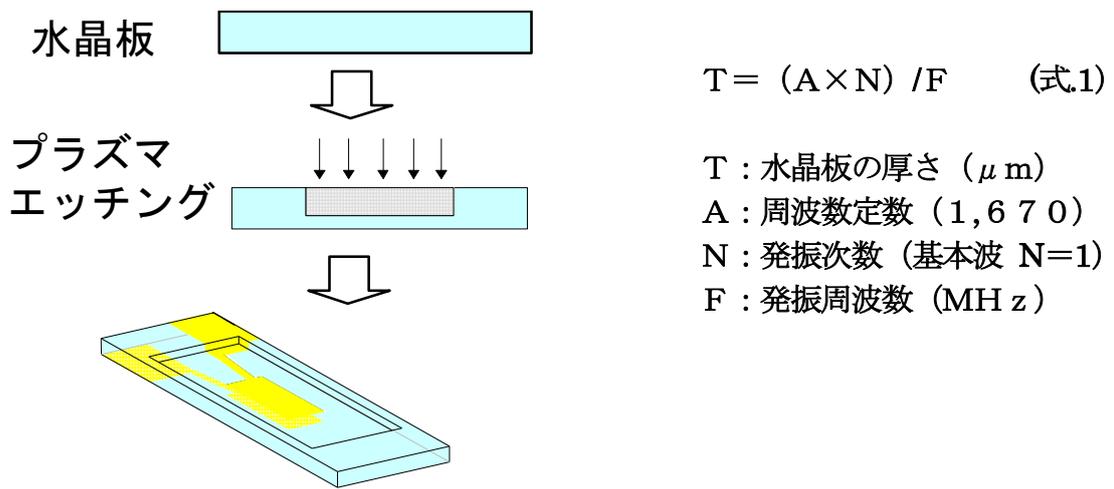


図 2-2 水晶板の反転メサ構造

SiO₂ エッチングの高速化のため、高密度のマグネトロンプラズマ生成が必須であることから、図 2-3 に示す「実験装置」において、高周波電源系のマッチングボックスの設定、放電特性およびシングルプローブ・発光分光器によるプラズマ診断などを試みた。以上の検証により、プラズマ発生条件の指針を示した。

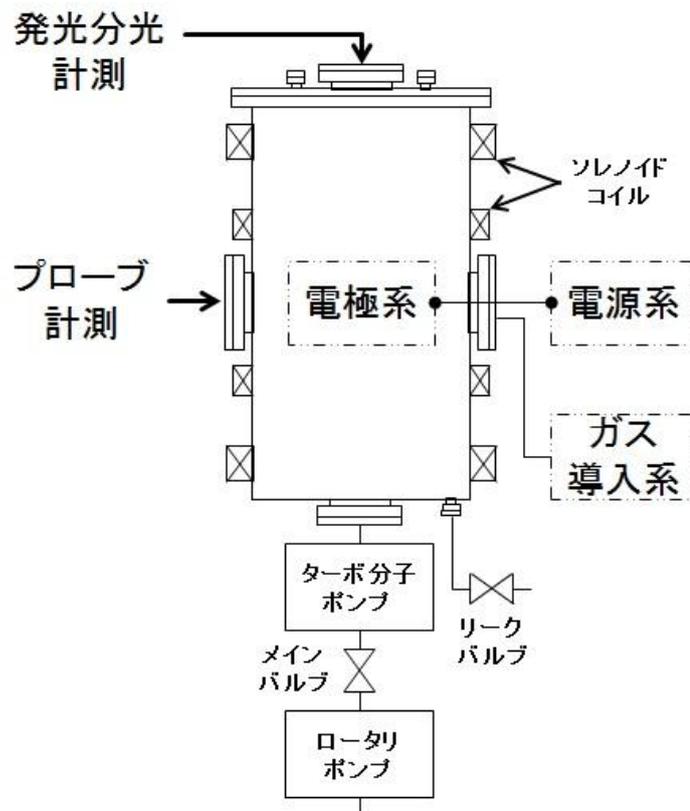


図 2-3 実験装置

1 - 1 - 2. プラズマエッチング装置設計、作製

プラズマ発生の磁界を得るために、磁界発生用コイルの設計として、放電電極面積とチャンバーの形状に合わせ、磁束密度のバラつきが2%以下にするために4つのコイルを組み合わせる設計を行った。コイル電流を印可した際の放電電極中央部の磁束密度分布を図2-4に示す。プラズマ発生条件に基づいて作製した小型水晶板用プラズマエッチング装置を図2-5に示す。

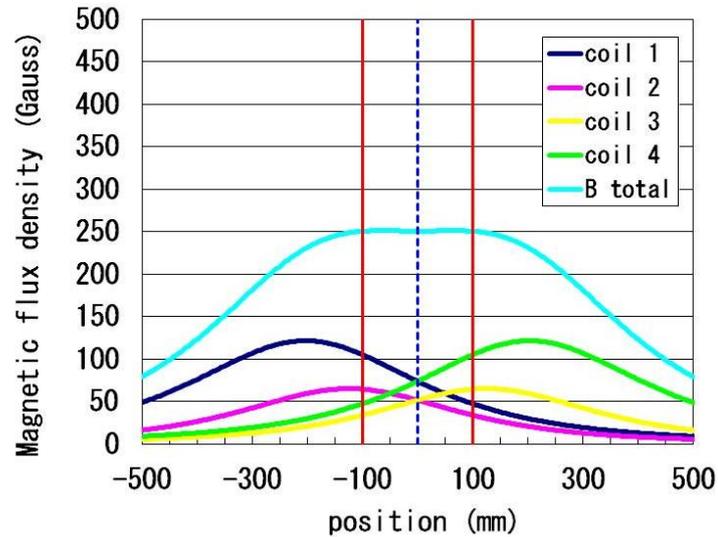


図2-4 コイル設計



図2-5 小型水晶板用プラズマエッチング装置

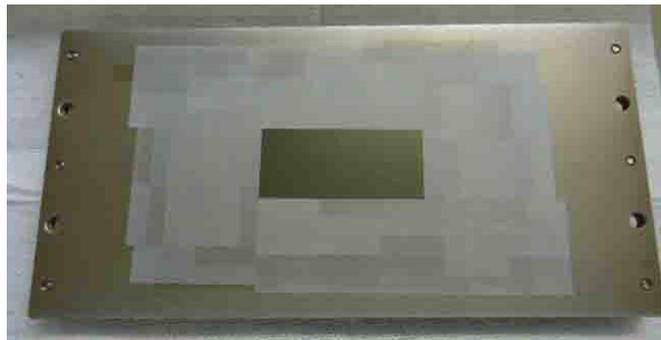
1 - 1 - 3. ドライエッチング条件の最適化

小型水晶板用プラズマエッチング装置におけるプラズマエッチング加工は図 2-6 に示すようにレジストマスクを施した水晶板を放電電極上に整列させて、図 2-7 に示すプラズマエッチング加工を行う。図 2-8 にエッチングガス導入口設置、排気経路を示す。エッチングガスの導入口を放電電極の真上に設定し、チャンバー両端のターボ分子ポンプ上の可変バルブを調整することで真空度を調整して、チャンバー中央に配置した放電電極への均一なエッチングガスの導入を行った。さらにエッチングガスの流れの均一化と安定性を図るためエッチングガスの流れを放電電極の真下、1 方向にし、放電電極へのエッチングガスの供給を安定化させた。放電電極の真下へのターボ分子ポンプの配置は磁界発生用のコイルがあるため不可能である。よって、補正板を設置することで真空チャンバー両端にあるターボ分子ポンプ吸入口からのエッチングガスの排気を真空チャンバー中央の放電電極の真下からの排気を可能とした。

これにより、エッチングガスの流れの安定化と放電電極へのエッチングガスの均一な供給を行った。また、エッチングガスの導入口はボックスを設置し、同時加工数の目標 600 pcs に対し十分な範囲を確保できるように放電電極全てをカバーする広範囲に渡りガス噴出口を複数配置することで、放電電極に対するエッチングガスの導入の均一化を行った。



(a) レジストマスク済水晶板



(b) 放電電極上の配置 (1,000pcs)

図 2-6 水晶板の配置

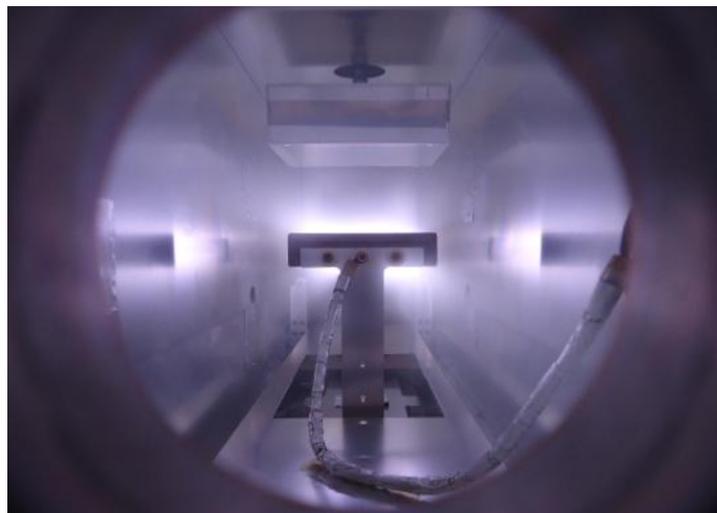


図 2-7 プラズマエッチング加工

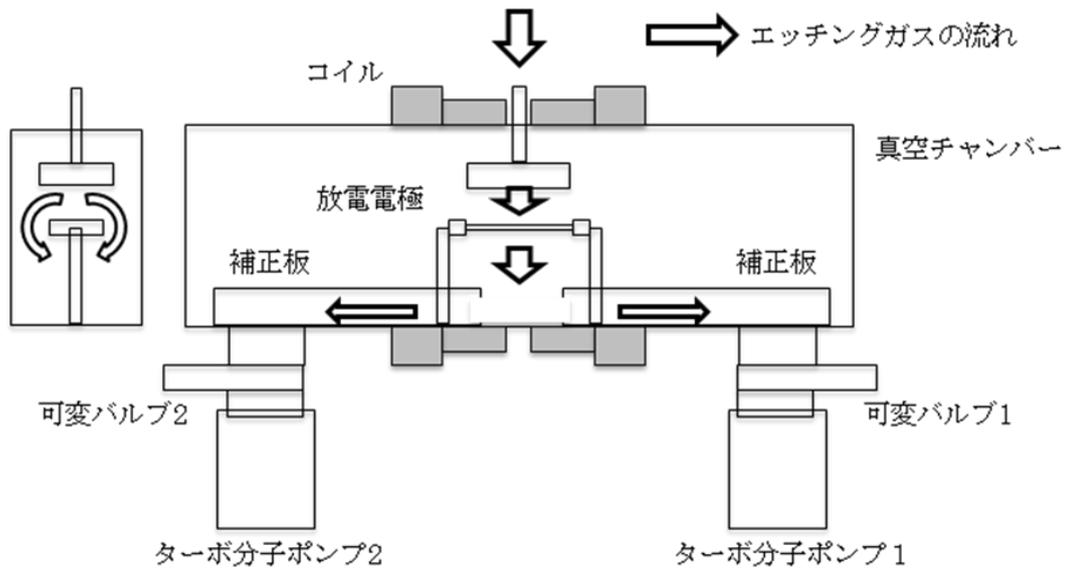


図 2-8 エッチングガス導入口設置、排気経路

プラズマエッチング加工後、ナトリウムランプを用いた干渉縞による外観確認を行った。全数を確認した結果、図 2-9 に示すように 1,000 pcs 全エリアにおいてエッチング加工が行われていることが確認でき、目標である 600pcs 以上を達成できた。

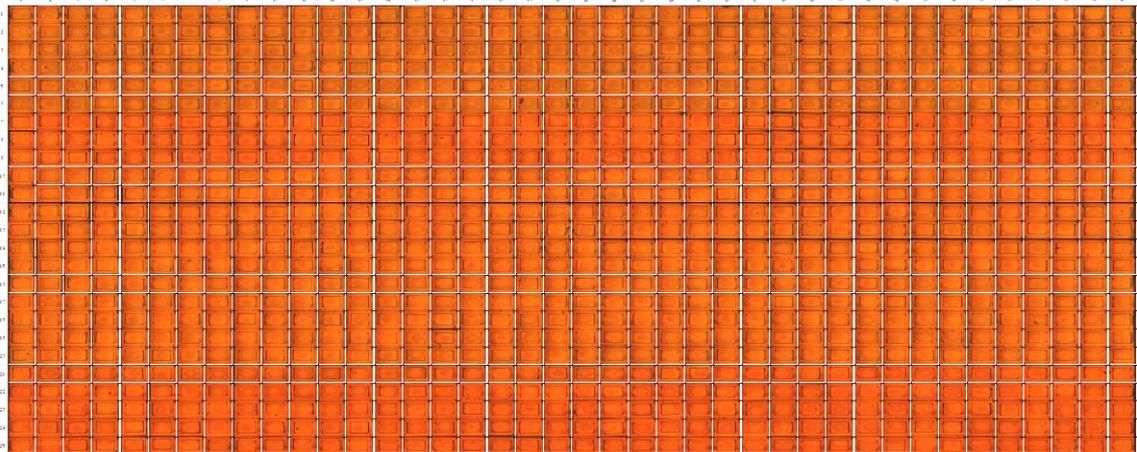


図 2-9 ナトリウムランプによる外観確認 (1,000 pcs)

エッチングガス量におけるエッチングレートのガス圧力依存性の関係を図 2-10 に示す。グラフより最もガス圧力が低く（メインバルブ全開時）、エッチングガス量 30 sccm（Ar 40%添加）の時、エッチングレートが最大となることが確認された。

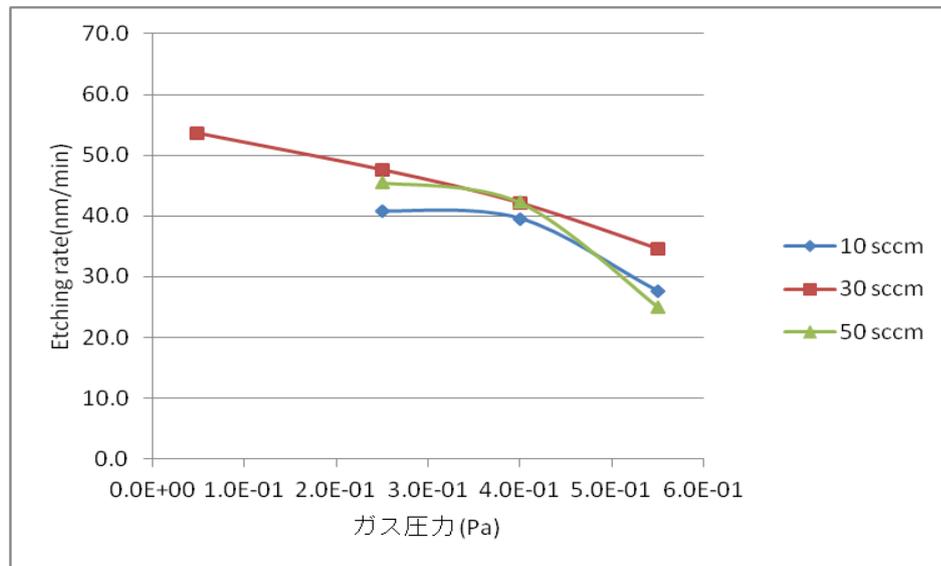


図 2-10 エッチングレートのガス圧力依存性

最適化対策後の製造ロット毎の加工回数に対するエッチングレートの安定性を図 2-11 に示す。エッチング条件の最適化後はバラツキを 11.9nm/min から 2.9 nm/min まで抑えることができた。これは放電電極の真上からのエッチングガスの流れがチャンバー両端 2 方向から放電電極板の真下 1 方向になり、放電電極の周辺でエッチングガスが安定して供給されるようになったためにエッチングレートのバラツキも安定したと推測される。以上対策により、エッチングレートは 53.3nm/min(AVG)となり、目標である 10nm/min 以上を達成できた。

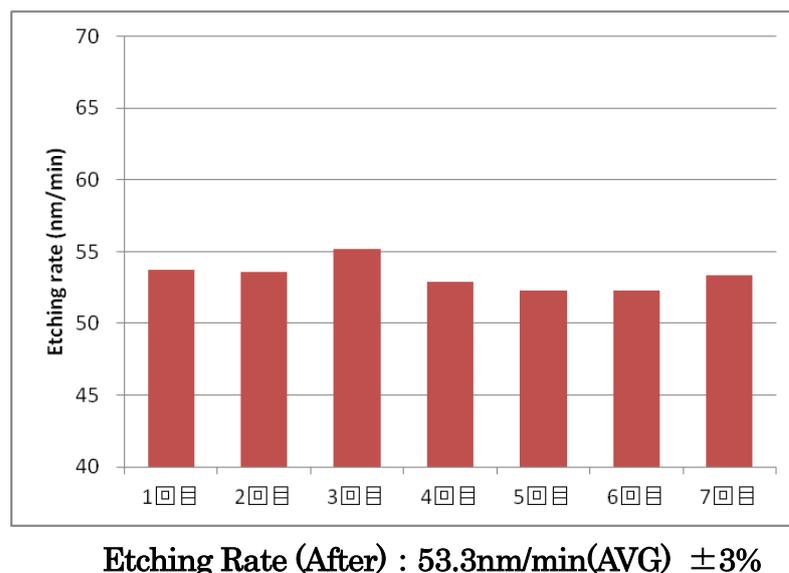


図 2-11 エッチングレートの安定性

第2節 発振周波数測定方法課題への対応

2 - 1. 自動測定装置の設計

小型水晶板用発振周波数測定装置は、水晶板の小型、高周波化（薄板化）するため破損しやすい水晶板の発振周波数を測定、分類に対応する下記仕様を導入した。

- ・測定部の配線距離を短くし外部ノイズの影響を減少させる。
- ・搬送部の水晶板のピックアップ部及び測定電極の交換で様々なサイズに対応
- ・複数の周波数分類トレイをマガジンへ収納によるトレイの交換効率の向上

発振周波数測定装置、プラズマエッチング装置間に搬送ロボットを導入することでプラズマエッチング加工から周波数分類までを放電電極をトレイとし自動搬送する、小型水晶板用プラズマエッチング装置システムを作製した。(図 2-12)

また、発振周波数測定装置の吸着ノズルを図 2-13 に示す。吸着ノズル素材は接触時の破損を考慮し導電性ラバーで製作しており、形状も水晶板中央の薄板部に吸着ノズルが接触しないようにした。これら最適化より、水晶板を搬送の際、破損率を 1% 以下へ低減でき、目標である 5%以下を達成できた。

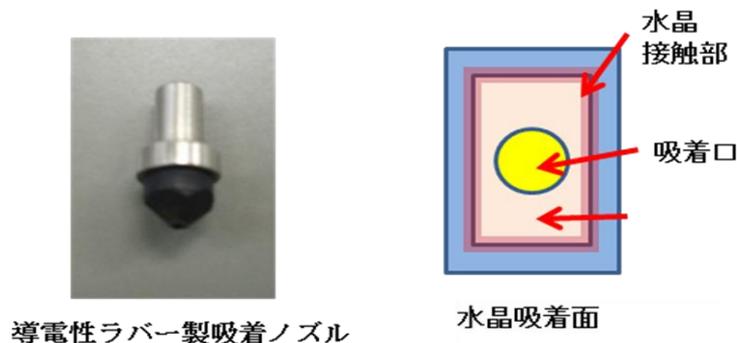


発振周波数測定装置

搬送用ロボット

プラズマエッチング装置

図 2-12 小型水晶板用プラズマエッチング装置システム



導電性ラバー製吸着ノズル

水晶吸着面

図 2-13 発振周波数測定装置 吸着ノズル

2 - 2. 測定電極の設計

発振周波数測定装置の測定部を図 2-14 に示す。発振周波数は本装置のネットワークアナライザによる発振波形のピークをサーチすることで測定を行う。高周波小型水晶板ではピークレベルが小さく、周波数測定時ピークサーチエラーが発生するため次の対策を行った。

- ・測定電極の小型化、上下測定電極の測定面の研磨処理及び測定電極素材に電気伝導率が良いため信号の減衰が小さく、硬くキズが付きにくい NBC 銅の採用
- ・信号線上の外部ノイズ低減対策のため、測定電極-端子間の最短配線及び GAP 長の $1\mu\text{m}$ 単位での設定

以上の対策により、図 2-15 に示すように発振波形のピークレベルが向上し、発振周波数測定エラーを 1%以下へ低減でき、目標である 5%以下を達成できた。

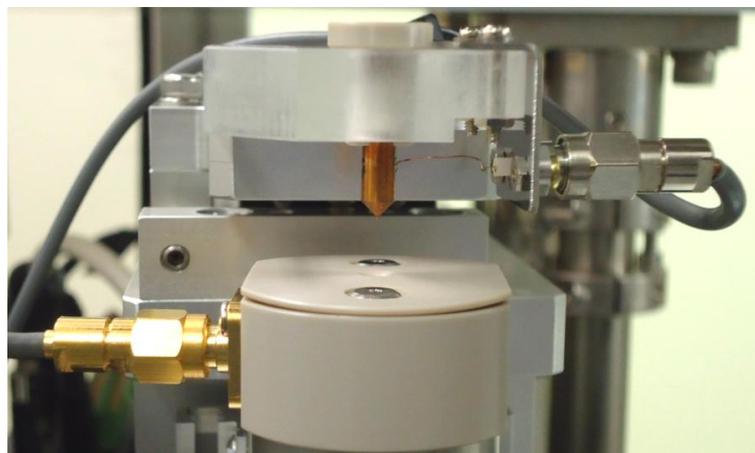


図 2-14 発振周波数測定装置 測定部

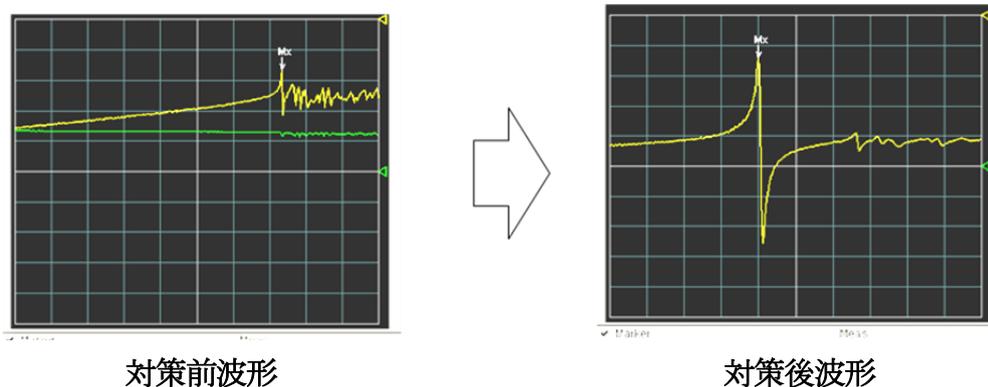


図 2-15 発振波形比較

第3節 加工表面の観察、測定方法課題への対応

3 - 1. 加工表面の形状分析

3 - 1 - 1. 加工表面の観察

エッチング後のメサ平坦部の表面形態観察を、走査電子顕微鏡（日本電子株、JS M-6610LV）、白色干渉計（Veeco 社）を用いた観察結果を図 2-16 に示す。走査電子顕微鏡ではデジタル光学顕微鏡スケールである拡大倍率 2,000 倍で観察した。白色干渉計による測定ではエッチング加工中央部の測定範囲 $45\mu\text{m} \times 60\mu\text{m}$ の表面形状測定及び表面粗さ測定を行った。電子顕微鏡、白色干渉計による観察、測定でエッチング加工中央部は平滑であった。

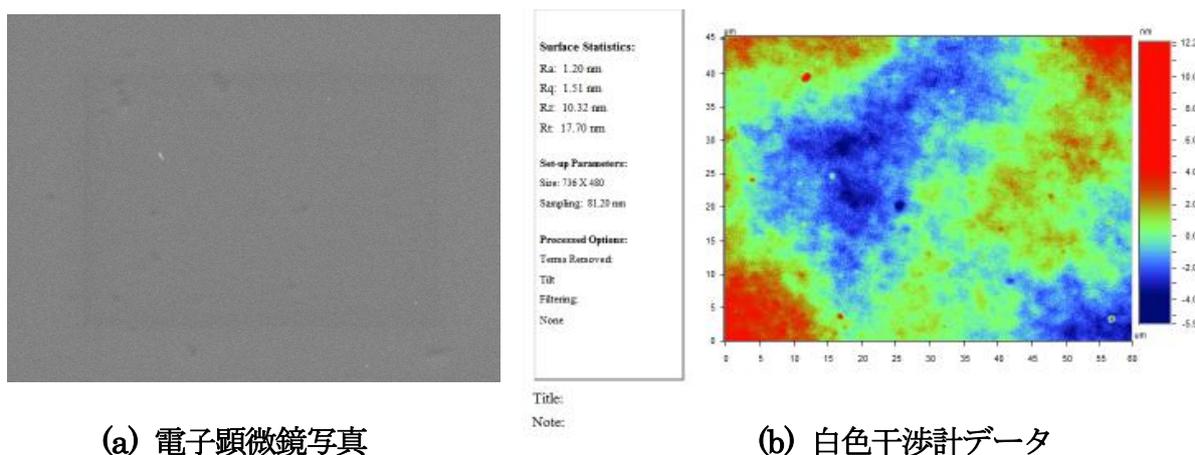


図 2-16 加工表面観察データ

3 - 1 - 2. 断面形状観察、測定

断面形状観察では、エッチング後の水晶板厚さについて、イオンミリング装置（株）日立ハイテクノロジーズ E3500）で試料断面を作製した後、断面を走査電子顕微鏡により観察した写真を図 2-17 に示す。レジスト部とエッチング部の境界がなだらかで、ウェットエッチングで問題になる水晶の結晶方向と切断角度によるオーバーハングが形成されない特徴が見られる。

断面形状測定では、アライメント調整が容易な非接触三次元測定装置（三鷹光器（株）NH-3N）を用いた。薄板化された水晶板の形状測定において、水晶板の上面の測定を行っていても、水晶板の下面のデータを測定してしまうことがあり、安定的な測定ができない。よって、スパッタリング装置を用いて水晶板の上面に薄膜を形成し、レーザー光が水晶板を透過して下面から反射することを防ぐ手法を用いた。薄膜を形成した非接触三次元測定方法を用いた高さ測定結果を図 2-18 に示す。また、同一箇所 3 回の測定結果まとめを表 2-1 に示す。測定結果において、測定最大誤差は $0.14\mu\text{m}$ であった。測定機の最大許容指示誤差（Z） $0.3+0.5L/10\mu\text{m}$ を考慮しても、 $1\mu\text{m}$ レベルでの測定を達成した。

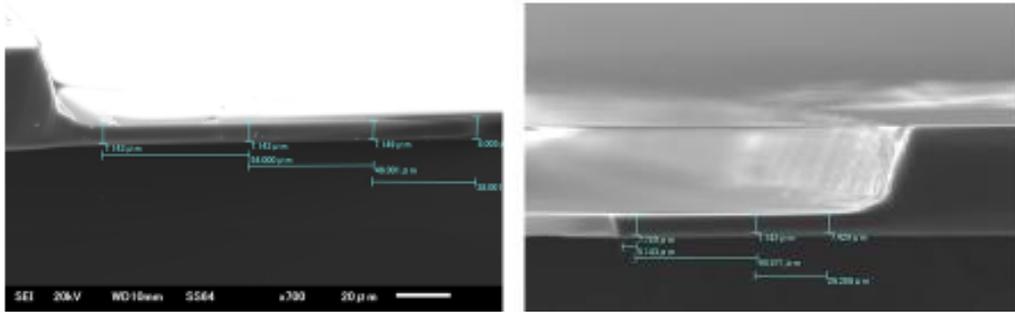


図 2-17 エッチングした水晶板の断面形状写真

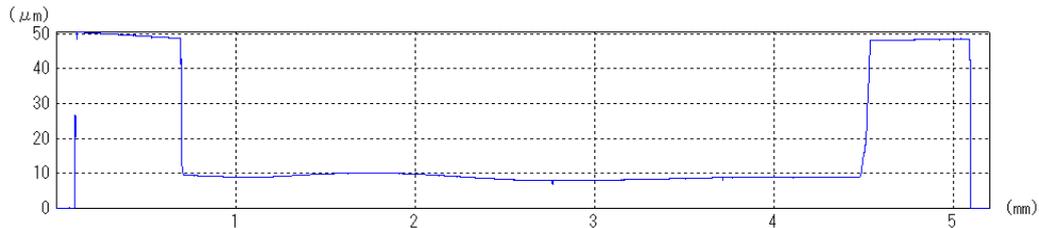


図 2-18 断面形状測定データ

左の上面高さ			メサ加工面高さ			右の上面高さ		
1 回目	2 回目	3 回目	1 回目	2 回目	3 回目	1 回目	2 回目	3 回目
49.7	49.6	49.7	8.99	8.88	8.85	48.3	48.3	48.3

表 2-1 断面形状測定結果まとめ (μ m)

3 - 1 - 3. 表面粗さ測定

表面粗さは、JIS B0651 に準拠して測定することが望ましい。よって、表面形状粗さ測定機（アメテック(株) PGI1200）を使用した測定方法を検討した。測定では、測定対象物を接着剤などで固定する必要があるが、水晶板が小さく薄いため破損しやすく、接着剤が測定面に付きやすいという課題がある。この課題の解決方法として、オプティカルフラット上でアルコールを蒸発させて固定する方法を実施した。確認のため非接触三次元測定装置を用いて、スパッタ処理で薄膜を形成後、エッチング加工を施した水晶板に固定有と固定無で測定したところ、算術平均粗さ（以下 Ra）の誤差は 1nm 以下と固定に関しては Ra に影響を受けないことを確認した。

スパッタ処理は Ra に影響を与えるため、表面形状粗さ測定機を用いた測定を固定して繰り返し行った結果を表 2-2 に示す。Ra は最大誤差 0.0005 μ m 以下であり、0.5 μ m レベルでの粗さ測定に対して、目標の精度を達成することが確認できた。

	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	最大差
Ra (μ m)	0.00081	0.00073	0.00067	0.00075	0.00014

表 2-2 表面粗さ測定結果

第4節 高周波小型水晶振動子の設計課題への対応

4 - 1. 高周波小型水晶振動子の設計

4 - 1 - 1. 高周波小型水晶製品の設計、作製

高周波小型水晶製品の評価用試作品として、下記製品の製作を行った。

・3.2mm×2.5mm 水晶振動子 122.880MHz (製品型名：SEG)

・3.2mm×2.5mm 水晶発振器 212.500MHz (製品型名：AEM)

プラズマエッチングを行う基材水晶板としては、厚さは機械研磨の限界である30 μ m厚(53MHz)を使用した。

水晶板へのレジストマスクをニッケルの真空蒸着にて形成後、プラズマエッチング加工から周波数分類は本事業で製作した小型水晶板用プラズマエッチング装置システムを用いた。

メッキ電極の形成は、高周波小型水晶板にメッキ電極のパターンがつけられたメッキ枠に入れ、蒸着材に金を用いて真空蒸着にて行った。

セラミックベースへの搭載は導電性接着剤を用いて自動搭載機で行った。この際、水晶発振器は発振回路を搭載したベースに搭載を行う。

発振周波数の微調整は水晶振動子を発振させながらメッキ電極をイオンビームで剥ぎとり、目的とする周波数に合わせるイオンビーム調整機で行った。

セラミックベースの封止はセラミックベースへのメタルキャップのシーム溶接を真空状態で行うことができる真空封止機で行った。

以上の工程を経て、製品として完成した水晶振動子、水晶発振器の外観を図2-19に示す。

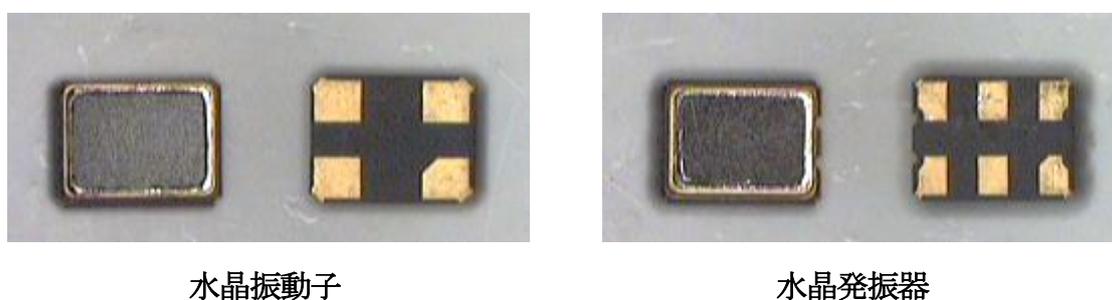


図2-19 製品外観 (3.2mm×2.5mm サイズ)

4 - 1 - 2. 電気的特性、信頼性試験の確認

1) クリスタルインピーダンス (C I 値) の測定

水晶振動子のクリスタルインピーダンス (以下、C I 値) の仕様は、発振回路に搭載して使用する際、異常発振や不発振の原因となるため重要になる。また、水晶発振器についても発振回路を搭載しているため、同様に重要な検査項目となる。高周波のC I 測定に対応したインピーダンスアナライザを用いてC I 値の測定を行った。測定結果まとめを表2-4に示す。ともに目標であるC I 値50 Ω (max)を達成した。

製品型名	SEG 122.880 MHz	AEM 212.500 MHz
MAX	25.8 Ω	28.7 Ω
MIN	7.0 Ω	11.7 Ω
AVG	16.4 Ω	16.5 Ω
SIG	6.3	5.9

表 2-2 クリスタルインピーダンス測定結果(n=10)

2) 温度特性の測定

温度特性試験は動作温度範囲で仕様の周波数偏差内かを確認する試験である。

測定結果を図 2-41、図 2-42 に示す。ともに目標とする仕様である周波数温度特性±50ppm (−10℃ ~ +70℃) を達成した。

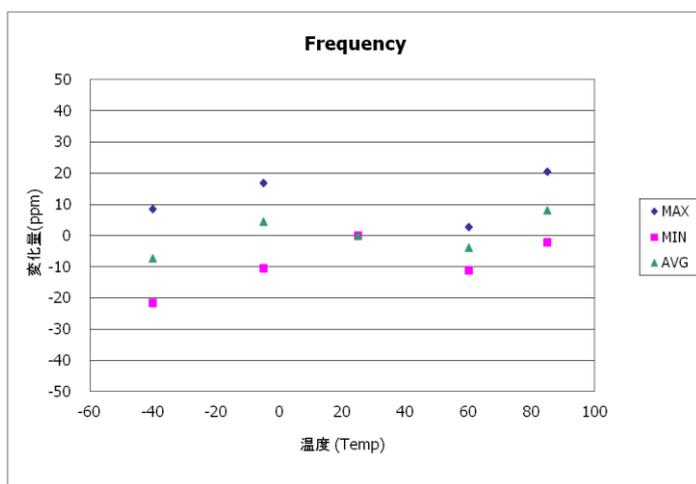


図 2-41 温度特性試験結果 (SEG 122.880MHz)

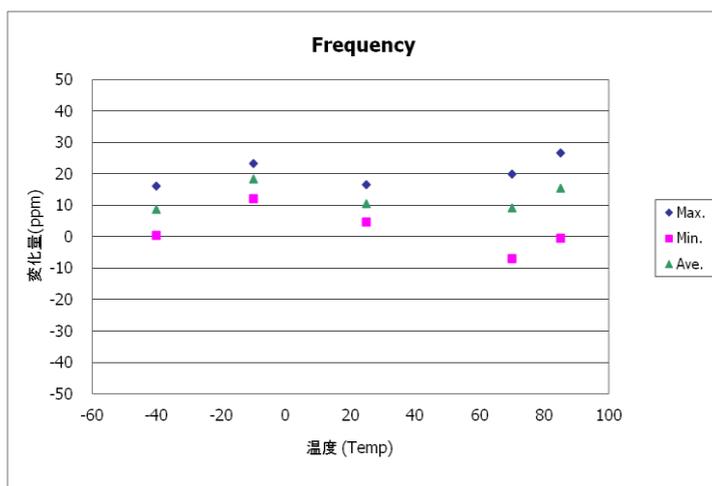


図 2-42 温度特性試験結果 (AEM 212.500MHz)

3) 信頼性試験

信頼性試験については電氣的性能、外観、構造、環境試験、信頼性試験を行い、製品として問題が無いことを実証し、高周波小型水晶製品の製品化に成功した。

第3章 全体総括

3 - 1. 研究開発の成果

高周波小型水晶振動子の製作技術を確立することを目標に、水晶板の高周波化（薄板化）と小型化の両立を可能とするため、プラズマエッチング装置と発振周波数測定装置を作製し、ドライエッチング条件の最適化、発振周波数測定方法の最適化、エッチング加工した形状観察と測定方法を確立した。以上の製作技術を用いて、高周波小型水晶振動子、高周波小型水晶発振器を作製し、電気的特性評価及び信頼性試験を行い、製品化に成功した。各課題に対しての成果は以下に示す。

【1】小型水晶板に対するドライエッチング方法課題

高周波小型水晶板ドライエッチング加工に対応するためプラズマエッチング装置のプラズマ発生条件に基づいて小型水晶板用プラズマエッチング装置の設計を行い、ドライエッチング条件の最適化の研究結果より、小型水晶板に対するドライエッチング方法課題について目標とした同時加工数 600pcs、エッチングレート 20nm/min に対して、同時加工数 1,000pcs 対応、エッチングレート 53.3nm/min \pm 3%となり、目標以上の成果を達成した。

【2】発振周波数測定方法課題

小型水晶板用発振周波数測定装置の設計、製作を行う上で次の設計を導入して装置製作を行った。薄板化した水晶板の破損を防ぐために水晶板搬送部の最適化の研究、及び高周波、小型化による周波数測定エラーの発生に対しては測定電極部の最適化を行い各研究の成果より、発振周波数測定方法課題について目標とした水晶板破損率 5%以下、発振周波数測定エラー発生率 5%以下に対して水晶板破損率 1%以下、発振周波数測定エラー発生率 1%以下となり、目標を達成した。

【3】加工表面の観察と測定方法課題

加工表面の観察と測定方法課題については、ドライエッチング加工を行った小型水晶板のエッチング加工部の形状分析手法として、エッチング加工部の表面形状の観察手法、エッチング加工部の断面形状の観察手法、エッチング加工部の断面形状の測定手法、エッチング加工部の表面粗さ測定手法の分析方法で、加工表面の観察と測定方法課題に対して目標とした 1 μ m レベルでの形状観察と形状測定、表面粗さの評価において 0.5 μ m レベルでの分析手法を確立し、目標を達成した。

【4】高周波小型水晶製品の設計課題

下記高周波小型水晶振動子、高周波小型水晶発振器の設計、作製を行った。

- ・ 3.2m \times 2.5mm 水晶振動子 122.880MHz (製品型名：SEG)
- ・ 3.2m \times 2.5mm 水晶発振器 212.500MHz (製品型名：AEM)

また、電気的特性試験、信頼性試験を行い、製品の電気的特性の標準仕様である、周波数温度特性： \pm 50ppm ($-10^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$)、クリスタルインピーダンス：50 Ω (max)を満足した。信頼性試験でも問題が無いことを実証し、製品化を行った。

3 - 2. 研究開発後の課題

高周波小型品での顧客ニーズとして様々な仕様を求められている。よって、今後の課題としては次のようになる。

- ・高周波小型品の新規周波数への対応
- ・様々な特殊仕様品への対応（温度特性の拡大、高耐衝撃品の開発等）

対応するためには、新規周波数の水晶板の設計確立と水晶板のドライエッチング加工における高アスペクト比でのエッチング面の平坦度と平行度の加工精度の向上が必要となる。よって、表面形状データ（形状観察、形状測定、粗さ測定）の効率的な収集と分析結果をフィードバックしたドライエッチング加工条件の研究を長崎大学、長崎県工業技術センターの支援のもと継続して研究を行っていく。

3 - 3. 事業化展開

新規製品として、高周波小型水晶製品（高周波小型水晶振動子、高周波小型水晶発振器）を図 3-1 に示す。高周波小型水晶製品を今後ホームページへの掲載や展示会への出展を行っていき販売促進に努める。

事業終了後、サンプル出荷への対応を随時行い、既存顧客である情報通信機器業界への電子部品販売業者などから仕様問合せなどの対応を行っていく。

型名		寸法	周波数	特長
TEM		5.0x3.2mm	50.00MHz - 250.00MHz	高周波水晶発振器 (差動発振型)
AEM		3.2x2.5mm	50.00MHz - 250.00MHz	小型高周波水晶発振器 (差動発振型)
COL		5.0x3.2mm	50.00MHz - 125.00MHz	高周波電圧制御水晶発振器
COP		3.2x2.5mm	50.00MHz - 170.00MHz	小型高周波電圧制御水晶発振器 (低ノイズタイプ)
SEG		3.2x2.5mm	50.00MHz - 200.00MHz	小型高周波水晶振動子 (基本波タイプ)
MAS		2.5x2.0mm	50.00MHz - 200.00MHz	超小型高周波水晶振動子 (基本波タイプ)

図 3-1 高周波小型水晶製品の紹介

リサイクル適性 

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。

