

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業
「雰囲気精密制御型超高真空熱処理装置の開発」

研究開発成果等報告書

平成24年3月

委託者 東北経済産業局

委託先 公益財団法人 みやぎ産業振興機構

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
- 1-2 研究体制
(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該プロジェクト連絡窓口

第2章 本論ーロードロック室（前処理室）の開発

- 2-1 システム設計
- 2-2 機械・機構設計
- 2-3 制御設計
- 2-4 要素性能評価

第3章 本論ー小型装置による基礎データ収集

- 3-1 熱処理による抵抗変化率の調査
- 3-2 熱処理によるコンタクト抵抗値と界面組織の関連性の調査

第4章 本論ータッチパネルプロセスによる装置性能評価

- 4-1 試料搬送機構の最適化によるタクトタイム短縮化及び生産コスト低減検討
- 4-2 加熱・冷却速度の最適化
- 4-3 雰囲気ガス導入の精密制御
- 4-4 ガス導入経路の最適化

第5章 全体総括

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) 実施計画の細目（手法・手段・研究場所等）

1) 研究の目的

現在、熱処理用に使用している製造装置は、低真空雰囲気ガス内に微量反応ガスを混載した雰囲気で処理をするため、本研究が目的としている低抵抗銅合金配線を実現するプロセス条件を得ることは不可能であった。これまでの研究（JST シーズ育成研究、地域イノベーション創出研究開発事業）を通じて、低抵抗銅合金配線を実現する熱処理条件が得られた。また、高性能タッチパネルを量産するには、生産性を高めた装置は大口径化および複数枚数の処理能力が必要であるが、量産装置が存在しない。本研究は、加熱機構とガスフロー機構を精密に制御して、真空加熱処理の低価格化、ランニングコスト低減に係る技術を高度化し、高性能タッチパネルの量産プロセス技術を確立することを目的とする。

2) 研究の概要

大口径でかつ複数枚の基板において、基板温度および反応ガスの雰囲気均一性を実現するにあたり、より低圧雰囲気(高真空領域)になるに従って技術的に難しくなる。この問題に対処するため、現状の高圧のプロセス雰囲気の熱処理装置よりも、技術的に高度化した加熱機構およびガス導入技術が必要である。さらに、低コストかつ低ランニングコストの実現には装置設計技術および製造技術も高度化する必要がある。

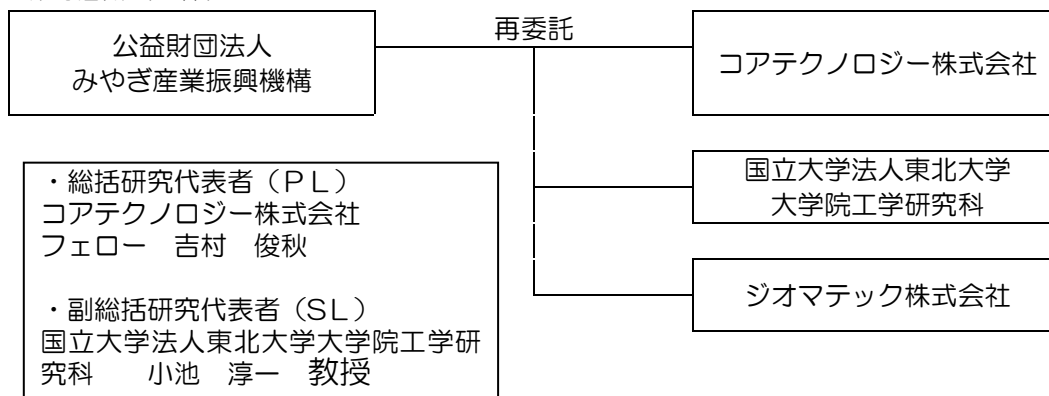
下記条件を満たす熱処理炉の実現を目指す。

- ・到達真空度； 10^{-6} Pa 以上、
- ・加熱速度； $50^{\circ}\text{C}/\text{分}$ 以上、
- ・最高到達温度； 450°C 以上、
- ・酸素分圧； 2×10^{-4} Pa の精度で制御可能（ 10^{-4} Pa～ 10^{-2} Pa の範囲）

1-2 研究体制

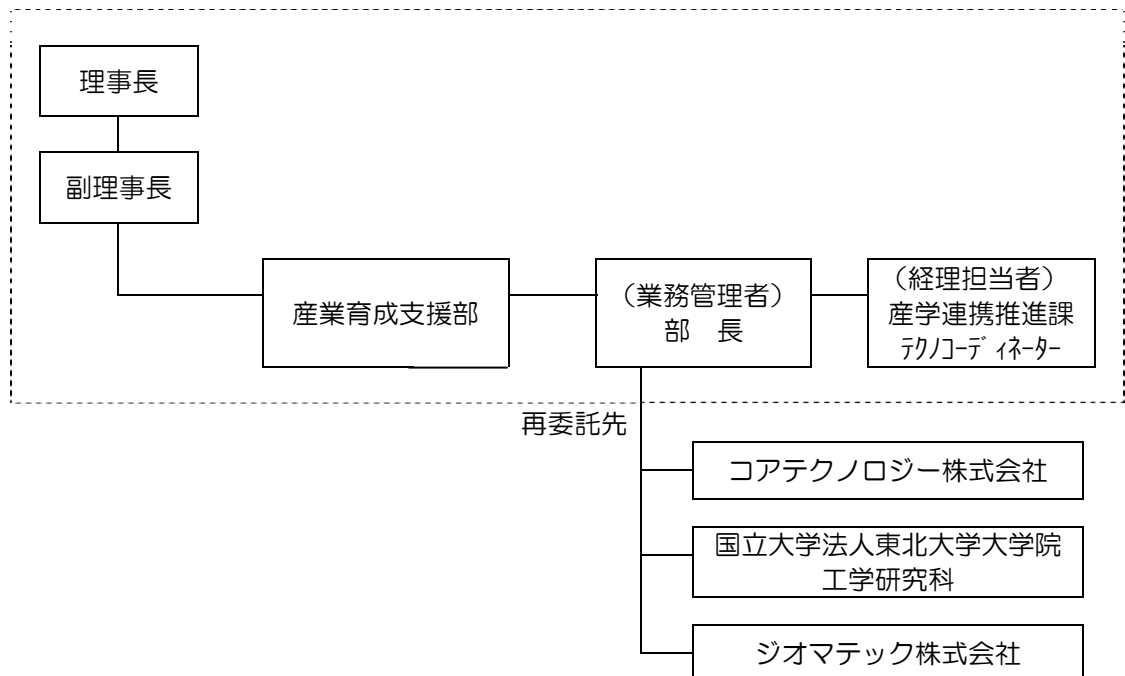
(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）

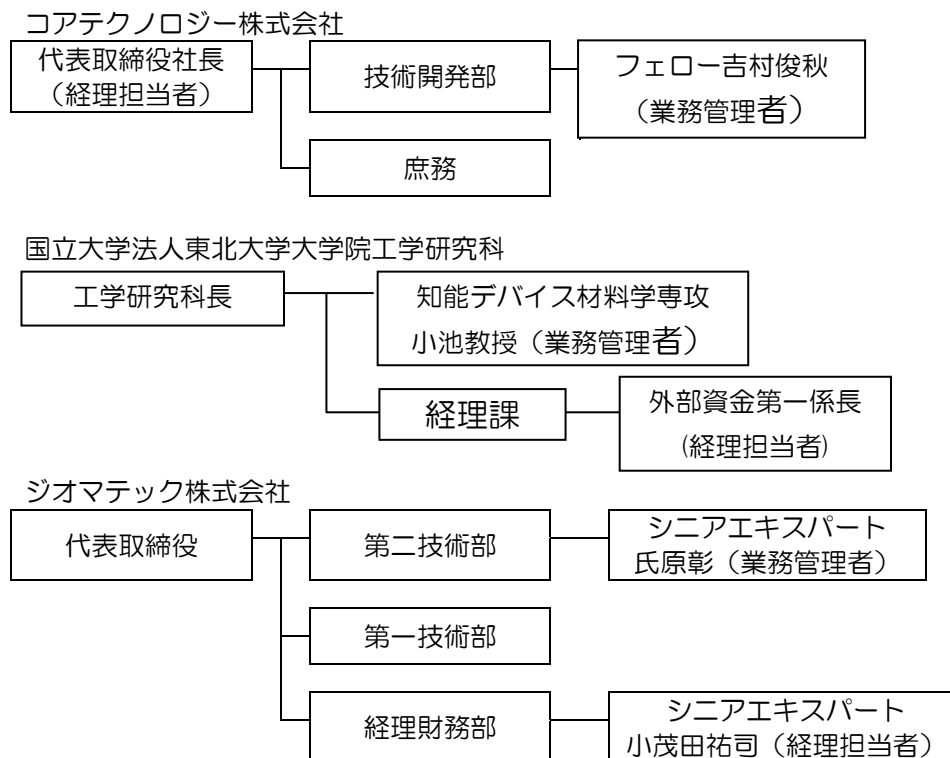


2) 管理体制

① 事業管理者〔公益財団法人みやぎ産業振興機構〕



② (再委託先)



(2) 研究員及び管理員（役職・実施内容別担当）

【事業管理者】公益財団法人みやぎ産業振興機構

管理員

氏名	所属・役職
中塚 朝夫	産業育成支援部 ・部長
町田 博	産業育成支援部産学連携推進課・テクノロジー・イネーター
八重樫 順一	産業育成支援部産学連携推進課・テクノロジー・イネーター

【再委託先（研究員）】

コアテクノロジー株式会社

氏名	所属・役職
吉村 俊秋	フェロー
箕輪 裕之	研究員
安田 剛之	研究員
青塚 進	研究員
吉村 桂一	研究員
市川 英雄	研究員

国立大学法人東北大学大学院工学研究科

氏名	役職・所属
小池 淳一	大学院工学研究科 教授
須藤 祐司	大学院工学研究科 准教授

ジオマテック株式会社

氏名	役職・所属
氏原 彰	第二技術部 シニアエキスパート
伊藤 孝洋	第二技術部 技術員
千葉 早紀	第一技術部 技術員

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

【事業管理者】

公益財団法人みやぎ産業振興機構

（経理担当者）産業育成支援部 産学連携推進課 テクノロジー・イネーター 町田 博
（業務管理者）産業育成支援部 部長 中塚 朝夫

【再委託先】

コアテクノロジー株式会社

（経理担当者）代表取締役社長 平沼 清美
（業務管理者）フェロー 吉村 俊秋

国立大学法人東北大学大学院工学研究科

（経理担当者）大学院工学研究科外部資金第一係長 後藤 逸人
（業務管理者）大学院工学研究科 教授 小池 淳一

ジオマテック株式会社

(経理担当者) 経理財務部 シニアエキスパート

(業務管理者) 第二技術部 シニアエキスパート

古茂田 裕司

氏原 彰

(4) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

研究推進会議 委員

氏名	所属・役職	備考
吉村 俊秋	コアテクノロジー株式会社・フェロー	PL SL
小池 淳一	東北大学大学院工学研究科・教授	
箕輪 裕之	コアテクノロジー株式会社・研究員	
安田 剛之	コアテクノロジー株式会社・研究員	
青塚 進	コアテクノロジー株式会社・研究員	
吉村 桂一	コアテクノロジー株式会社・研究員	
市川 英雄	コアテクノロジー株式会社・研究員	
高橋 勉	ジオマテック株式会社 執行役員	
氏原 彰	ジオマテック株式会社 第二技術部 シニアエキスパート	
伊東 孝洋	ジオマテック株式会社 第二技術部 技術員	
千葉 早紀	ジオマテック株式会社 第一技術部 技術員	アドバイザー
須藤 祐司	東北大学大学院工学研究科 准教授	
中塚 朝夫	(公財)みやぎ産業振興機構 産業育成支援部 部長	
村上 信幸	(公財)みやぎ産業振興機構 産学連携推進課 課長	
碓井 聡	(公財)みやぎ産業振興機構 産学連携推進課 副参事	
町田 博	(公財)みやぎ産業振興機構 産学連携推進課 テクノコーディネーター	
八重樫 順一	(公財)みやぎ産業振興機構 産学連携推進課 テクノコーディネーター	
川上 英昭	合同会社先端配線材料研究所 代表取締役社長	

※アドバイザーの役割；種々のバリエーションで高性能・高信頼性配線が求められる分野に関するアドバイザー

1-3 成果概要

(1) 装置設計・作製(担当；コアテクノロジー株式会社)

本研究では、低圧(高真空)雰囲気でも全ての基板(400×500mm以内、5枚設置)に対して均一に加熱するために熱源の種類と配置及び複数熱源の加熱制御の最適化を図る。また、反応ガス雰囲気についても同様に全ての基板の範囲で、上記諸条件を満たし、雰囲気均一化を図ることを最終目標とした。その結果、最小限のプロセス時間で処理することにより、処理能力の向上が見込まれ、生産コストを低減することが可能となった。

平成22年度は、大学で実現できたプロセス条件を基に、大口径で複数枚基盤を処理できる雰囲気を実現した熱処理炉を試作し、炉本体での機能であるが、到達真空度、最高到達温度、酸素分圧制御、基板温度分布、を確認した。

本年度は、平成22年度に製作した熱処理室にロードロック室を取り付けて、雰囲気精密制御型超高真空熱処理装置として完成させ、装置全体での基本特性評価を行った。

以下に各項目に関する実施した内容を示す。

①ー1 システム設計

- ・ ロードロックチャンバー部（前処理室）を設計し、熱処理室を含めた量産試作装置全体機能を設計した。

量産試作装置においては、プロセスチャンバー内の真空度・温度の安定性が重要である。この安定性を保つため、ロードロックチャンバーが必要である。ロードロックチャンバーをプロセスチャンバーに取り付けることにより、プロセスチャンバー内を外気に晒すことが無くより安定した処理を可能とする。

量産試作装置は、スループットが重要な要素となる。複数枚（5枚）の基板を同時一括搬送することにより、搬送時間の短縮及び、プロセスチャンバー内の熱処理の安定化にも寄与する。

上記の目的を達成するためのデザインレビューを実施し量産施策装置のコンセプトを作成した。

①ー2 機械・機構設計

- ・ プロセスチャンバー部（熱処理室）は、超高真空仕様で設計・作製した。従って、ロードロックチャンバー部（前処理室）も同様に超高真空仕様にて設計した。
- ・ 基板搬送は、複数枚（5枚）同時一括搬送及び、受け渡しを実施する仕様とした。
- ・ プロセスチャンバー部（熱処理室）で処理済基板が高温のままロードロックチャンバー部（前処理室）に搬出するので、N₂ブローによる基板冷却とした。

①ー3 制御設計

- ・ 平成22年度に作製したプロセスチャンバー部（熱処理室）の制御に、ロードロックチャンバー部（前処理室）の真空排気ソフトを追加した。
- ・ プロセスチャンバー部の制御に、大気搬送及び、超高真空での搬送を追加した。
- ・ 量産試作装置としての制御機器の設計を実施。
- ・ 量産試作装置としてのシステム調整・デバッグを実施。

①ー4 要素性能評価

- ・ 大気搬送及び、超高真空での確実な搬送と再現性を確認した。
- ・ 搬送機構の基板ホルダーの耐熱性を確認した。
- ・ 搬送機構の耐久性を確認した。
- ・ 量産試作装置としての総合評価を実施した。

コアテクノロジー(株)にて作製した熱処理炉ロードロック室を、既設の雰囲気精密制御型超高真空熱処理装置に取り付け、必要な雰囲気条件を実現する為の調整を行い、タッチパネル用 Cu-Mn 電極材料を熱処理し、量産処理装置の検証を行った。

（2）小型装置による基礎データ収集（担当；東北大学工学研究科）

タッチパネル用の銅合金配線を低抵抗化する原理は、銅合金に添加する Mn のみを表面に拡散させ酸化させる外部酸化機構を利用している。量産装置において大型のガラス基板表面に均一に外部酸化をさせるには、酸素分圧の均一化と温度分布の均一化を図る必要が

ある。

平成22年度は、既存の小型熱処理装置を用いて、酸素ガス流入経路および加熱用ランプとガラス基板の配置を最適化することによって、熱処理による抵抗低減効果とその均一性を調査した。

本年度は、平成22年度に得られた基礎データを基に、新たに作製するロードロック室を装備した熱処理装置（大型装置）で得られる結果と小型装置の結果を比較検討及び下記項目を実施し、大型装置の性能改善につなげた。

②—1 熱処理による抵抗変化率の調査

- ・表面・界面反応の解析では、反応挙動と膜抵抗との関係性を解明し、反応挙動を同定した。
- ・界面電気特性の評価では、界面接触抵抗を測定し、反応挙動と接触抵抗の関連性を解明した。

②—2 熱処理によるコンタクト抵抗値と界面組織の関連性の調査

- ・種々の条件で熱処理を行い、電極とITO界面のコンタクト抵抗を測定し、コンタクト抵抗を最小にする熱処理条件を探索した。
- ・上記の試料の界面組織を透過電子顕微鏡で観察し、コンタクト抵抗の熱処理条件依存性を組織的観点から明らかにした。

(3) タッチパネルプロセスによる装置性能評価（担当；ジオマテック株式会社）

事業化に向け、量産工程でのCu-Mn合金配線低抵抗化実現を目的に、コアテクノロジー社作製の熱処理装置により電極成膜後の大口径ガラス基板（370×470mm）を熱処理する。熱処理装置の温度、圧力の処理条件を適正化し、各分布の適性及びCu-Mn合金配線低抵抗化を確認する。

平成22年度は、コアテクノロジー社にて作製した熱処理装置の性能評価を行い、装置の基本特性を確認した。

本年度では、平成22年度に得られた装置性能データを基に、下記項目を実施し生産プロセスにおける装置性能を評価した。

③—1 試料搬送機構の最適化によるタクトタイム短縮及び生産コスト低減検

- ・ロードロック室を既設の熱処理装置に取り付け、排気・加熱性能を調査した。得られたデータと下記パラメータでの抵抗値依存性より搬送機構を最適化し、タクトタイム短縮を図った。

③—2 加熱・冷却速度の最適化

- ・加熱・冷却速度の最適化による熱処理時間短縮化及び生産コスト低減を検証した。
- ・熱処理装置内の加熱・冷却速度の抵抗値依存を調査し、プロセス時間が短縮できるよう最適化を図った。

③—3 雰囲気ガス導入の精密制御

- ・雰囲気ガス導入のタイミングの把握と、ガス流量の精密制御により熱処理製品の歩留まり向上を検証した。
- ・熱処理装置内の真空度・加熱温度・ガス流量での面内およびバッチ間の抵抗値依存を調査し、面内分布の均一性とバッチ間の再現性を向上させた。

③ー4 ガス導入経路の最適化

- ・ガス導入経路の最適化による熱処理製品の歩留まりを向上させた。
- ・ガス導入経路による抵抗値の面内分布を調査した。得られたデータより導入経路を最適化し、熱処理製品の歩留まりを向上させた。

1ー4 当該プロジェクト連絡窓口

公益財団法人みやぎ産業振興機構

〒980-0011 宮城県仙台市青葉区上杉一丁目14番地2

Tel：022-225-6636 Fax：022-263-6923

e-mail：koudo@joho-miyagi.or.jp

産業育成支援部 部長 中塚 朝夫

産業育成支援部産学連携推進課 村上信幸、碓井聡、町田博、八重樫順一

第2章 本論—ロードロック室（前処理室）の開発

平成 20-21 年度地域イノベーション創出研究開発事業「バリア層自己形成合金を用いた次世代タッチパネルの開発」の成果として、Cu-Mn 合金を用いた配線の低抵抗化、プロセス耐性など実用化技術が確立されている。また、低抵抗化を実現する為の酸素分圧濃度及び温度等の条件が得られた。Cu-Mn 合金はタッチパネルを始め、半体、液晶ディスプレイ、有機 EL ディスプレイ等での実用が期待されているものの、小型実験機による抵抗低減は可能であるが、酸素分圧を精密制御できる量産機が存在しないことが事業化に向けた課題となっている。これらの背景から本開発では、小型実験機と同レベルの酸素濃度制御が可能な量産熱処理装置開発を目標とし、バリア層自己形成合金（Cu-Mn）をタッチパネル、液晶ディスプレイ、有機 EL ディスプレイ、半導体に应用するための雰囲気精密制御可能な量産熱処理炉の実現を目指した。

平成23年度開発品(ロードロック室)の仕様目標は下記の通りとした。

到達真空度：	10^{-5} Pa 以下
基板サイズ：	370mm×480mm (最大400mm×500mm)
基板搬送方式：	複数枚(5枚)同時一括搬送
基板冷却方式：	N ₂ ガスパージによる冷却

2-1 システム設計

①熱処理室を含めた装置全体機能を設計し、それを満たすためのロードロックチャンバー部のデザインレビューを実施した。その結果を示す。

本事業での開発装置は、プロセスチャンバー部（処理室）と基板挿入機構と雰囲気置換機能を有するロードロックチャンバー部（前室）とで構成される。平成23年度では、下図の通り（図 2-1）ロードロックチャンバー部（前室）を作製し、平成22年度作製したプロセスチャンバー部（処理室）に連結し、大気搬送テスト及び超高真空搬送テストを行い良好な搬送を確認した。

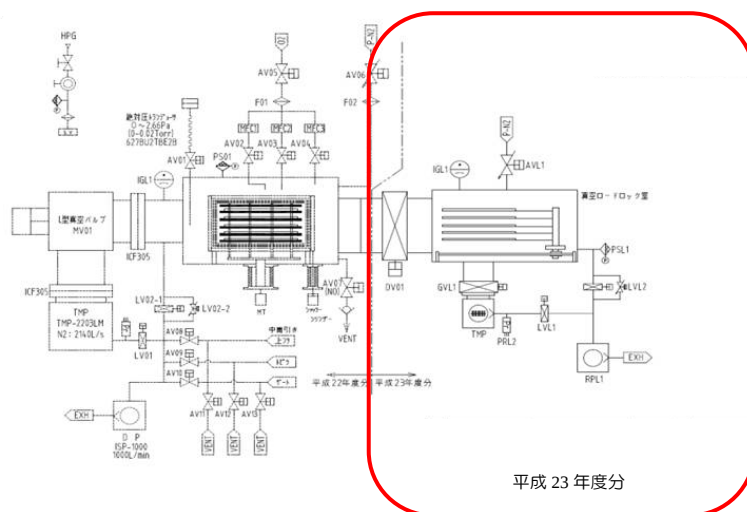


図 2-1 熱処理装置全体の概略図

2-2 機械・機構設計

- ①超真空仕様での設計結果
- ②基板搬送機構の設計結果
- ③基板冷却に関する設計結果

本開発装置作製における要素技術として量産時対応を考え、基板の複数枚（5枚）同時一括搬送を行い、搬送時間の短縮と搬送における基板の処理時間差を極力少なくすると同時に、ロードロック化（ロードロックチャンバー部をプロセスチャンバー部に取り付ける）によりプロセスチャンバー部（処理室）の大気汚染をなくし効率よく高精度のプロセス処理を可能とした。

超高真空搬送機構は、エンコーダ内蔵型 AC サーボモーター、台形ネジ及びベローズ回転導入機を使用した。又、基板を乗せる搬送アームは、プロセスチャンバー部（処理室）の高温（熱処理温度：Max450℃）に晒されるため材質を試行錯誤の末、アルミナセラミックに決定した。

雰囲気（N₂）置換機能（基板冷却）は、急激なガス導入を行うと基板の位置ずれや、基板の急激な温度変化による割れが生じるので焼結フィルターを通して導入し徐々に置換（10⁻⁵Pa～大気圧）できるように工夫した。

超高真空排気は、オイルのバック拡散による基板の汚染を防止するため、プロセスチャンバー部（処理室）と同じようにターボ分子ポンプとドライスクロールポンプを使用した。又、大気圧からの真空排気にはスロー排気を設け、一定の真空度からターボ分子ポンプが作動するようにし、急激な真空排気による基板の位置ずれ等を防止した。

メンテナンスを容易にするため、ロードロックチャンバー部（前室）の上部フランジを全て取り外し可能な設計とした。

この結果、大気圧搬送及び超高真空搬送（10⁻⁵Pa 以下）においてもスムーズな複数枚（5枚）同時一括搬送を可能とした。

2-3 制御設計

- ①ロードロックチャンバー部の真空排気ソフトの追加について
- ②大気搬送及び超高真空での搬送について
- ③量産試作機器としての制御機器設計について
- ④量産試作機器としてのシステム調整、デバックについて

以下の通り、試作コンセプトに基づいて、制御機器の設計を実施した。

複数枚（5枚）同時一括搬送機構については、エンコーダ内蔵型 AC サーボモーターを使用し、原点センサーのみの絶対値制御を行った。

雰囲気（N₂）置換機能及び超高真空排気機構は、プロセスチャンバー部（処理室）と同様にスロー導入、スロー排気を実施した。

ロードロックチャンバー部（前室）のソフトは全て、平成22年度に作製したプロセスチャンバー部（処理室）に使用した PLC（シーケンサー）及びタッチパネルにインストールし、操作もプロセスチャンバー部（処理室）のタッチパネルから全て行うようにした。

タッチパネルには、各々機能を有した画面が作成されており、その画面をタッチすることにより操作できる。

タッチパネルから自動、手動搬送及び真空排気の設定が出来、又、基板搬送のスピードや停止位置の設定が可能とした。

2-4 組立・配線

平成22年度作製したプロセスチャンバー部（処理室）及び平成23年度作製したロードロックチャンバー部（前室）を連結し装置全体を組み上げた状態の写真を（図 2-2）に示す。左から、電源部、コントロール部、プロセスチャンバー部（処理室）及び、ロードロックチャンバー部（前室）とで構成される。電源部は、メインのプレーカー及びヒーター回路の漏電プレーカーを有し、ヒーター用トランス等にて構成される。コントロール部は、PLC（シーケンサー）とタッチパネルで構成され、タッチパネルに各々機能を持たせた画面が作成されており、全ての操作はタッチパネルより行う。今年度作製のロードロックチャンバー部（前室）は、SUS304の溶接構造とし、内外面とも G.B.B.処理とした。ロードロックチャンバー部（前室）の内部に図 2-3 で示す複数枚（5枚）同時一括搬送機構を取り付け、複数枚（5段）の基板ホルダーを設置した構造になっている。また、ロードロックチャンバー部（前室）の真空排気系は、メイン排気バルブ、ターボ分子ポンプ、フォアラインバルブ、補助ポンプ（ドライスクロールポンプ）及び、粗引きバルブ等から構成されている。

プロセスチャンバー部（処理室）との連結は、ボルトにてプロセスチャンバー部（処理室）側から行っている。又、プロセスチャンバー部（処理室）とロードロックチャンバー部（前室）の間には、角型ゲートバルブを設置し基板受け渡し時以外は遮蔽し、各々チャンバー間のコンタミネーションを防止している。

到達真空度を評価するために、真空排気特性を測定した。その結果を（図 2-4）に示す。

到達真空度については、粗引きスロー排気、粗引きメイン排気、ターボ分子ポンプと段階的に真空度を上げ、約 240 分経過した時点で $9.95 \times 10^{-5} \text{Pa}$ となり目標到達真空度を達成した。



図 2-2 熱処理装置全体写真



図 2-3 ロードロックチャンバー部
（内部）

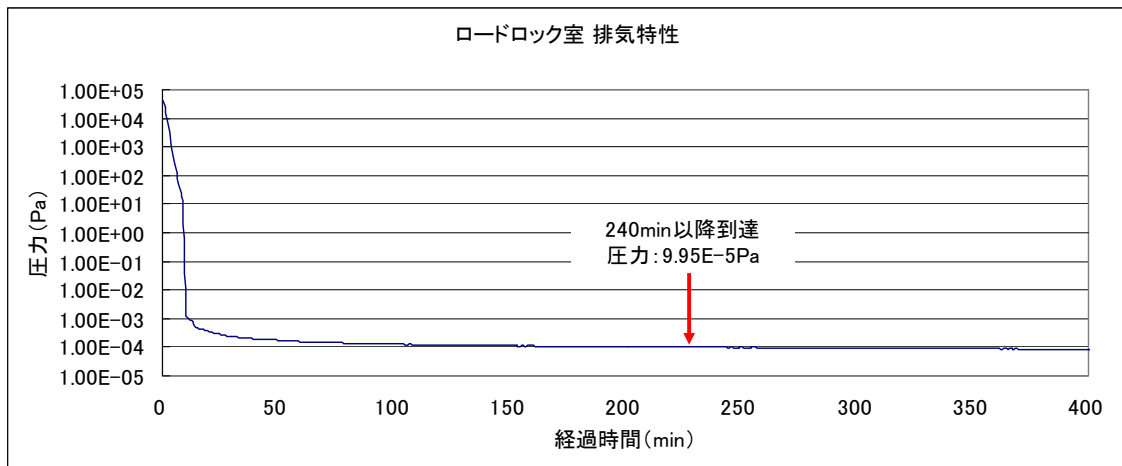


図 2-4 到達真空度試験結果

2-5 要素性能評価

- ①大気搬送、超高真空での搬送と再現性の確認結果
- ②搬送機構の基板ホルダー耐熱性の確認結果
- ③搬送機構の耐久性の確認結果
- ④量産試作装置としての総合評価結果

プロセスチャンバー部（処理室）の熱処理温度を 100℃、200℃、300℃及び400℃に設定し、各々基板搬送を大気圧と超高真空下で行った結果、良好な搬送が確認できた。

搬送の再現性、基板ホルダー、搬送機構の耐熱性に問題は無い。

この結果、量産試作装置としての当初の目的は達成されたと考える。

但し、今後量産化装置として事業化していく上での課題も見えてきました。

ロードロックチャンバー部（前室）の基板ホルダーに基板をセットし、超高真空（ 1.0×10^{-5} Pa 以下）に真空引きした時、基板の温度は室温です。これをプロセスチャンバー部（処理室）の熱処理温度に設定された部屋に搬送すると、基板が熱の影響により反る。予め基板を予熱し基板が熱平衡になってから搬送することで、基板搬送時間が現在より短縮されることが分かった。

第3章 本論—小型装置による基礎データ収集

3-1 熱処理による抵抗変化率の調査

① (Cu-Mn 薄膜の電気抵抗率の評価)

Mn 濃度が2, 4, 6at.%の Cu-Mn 合金薄膜を 300℃で 30 分の熱処理を行った後の電気抵抗率を図3-1 に示す。スパッタターゲットに用いた合金は4N 純度の Cu と3N 純度の Mn を混合したものとした。熱処理装置の背圧は 10^{-5} Pa であった。基板はガラス板上に ITO を成膜したものをを用いた。Cu-Mn 合金の膜厚はいずれの場合も 160nm とした。図の横軸は熱処理雰囲気中の酸素圧であり、酸素圧の上昇に伴って、抵抗率は減少して最小値を取った後に増加に転じる。この結果は、電気抵抗を減じるための最適酸素圧があることを示しており、最適酸素圧は Mn 濃度の増加に応じて高くする必要がある。Cu-2%Mn 合金の最適酸素圧は 10^{-4} ~ 10^{-3} Pa であり、4%Mn 合金は 1×10^{-3} Pa、6%Mn 合金は 3×10^{-3} Pa である。

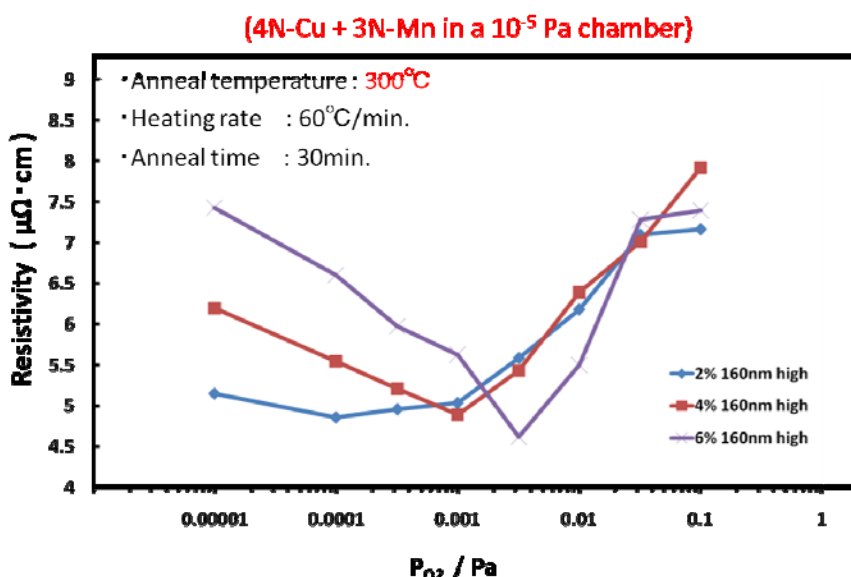


図3-1 Cu-2, 4, 6at.%Mn 合金の 300℃, 30 分加熱後の電気抵抗率の酸素圧依存性

② (電気抵抗変化と表面酸化の関係)

以下では、Cu-2at.%Mn の結果について詳細を記す。この合金の熱処理後の構造を同定するために X 線ディフラクトメーターによる解析を行った。その結果を図3-2 に示す。酸素圧が 10^{-3} Pa 以下では、Cu と In 酸化物のピークが観測された。In 酸化物は Mn が ITO と反応した際に解離した In が Cu-Mn 合金表面に拡散して酸化した結果形成されたものである。酸素圧が 10^{-2} Pa 以上になると、Cu と In 酸化物のピークに加えて Cu_2O のピークが観測された。酸素圧が高いために、Mn や In が膜表面で酸化されるだけに留まらず、Cu 自体が酸化されたことを示している。

また、熱処理後の表面組織を TEM で観察した結果を図3 に示す。酸素圧が 10^{-4} Pa、

10^{-3}Pa においては、膜表面に酸化物が形成され、EDS による組成分析の結果、Mn と In, Sn を含む酸化物であることが判明した。また、酸化物層の厚さは、4.3nm、11.8nm であり、最適酸素圧においては十分に厚い酸化物が形成されていた。一方で電気抵抗が上昇傾向にある 10^{-1}Pa でも同様に膜表面に酸化物が形成されており、その厚さは 14.6nm であった。図 3-3 では、組成分析に用いた EDS が酸素感度が悪く、酸素の定量化ができない為に、Cu の内部酸化は示せていない。しかしながら図 3-2 の結果が示すように、この酸素圧では Cu 自体が酸化されており抵抗上昇傾向に転じることが明らかになっている。

以上より、Cu の酸化を生じず、Mn および In, Sn の酸化物を膜表面に形成できる酸素圧の条件（外部酸化条件）において、最小の抵抗率を示すことが明らかになった。

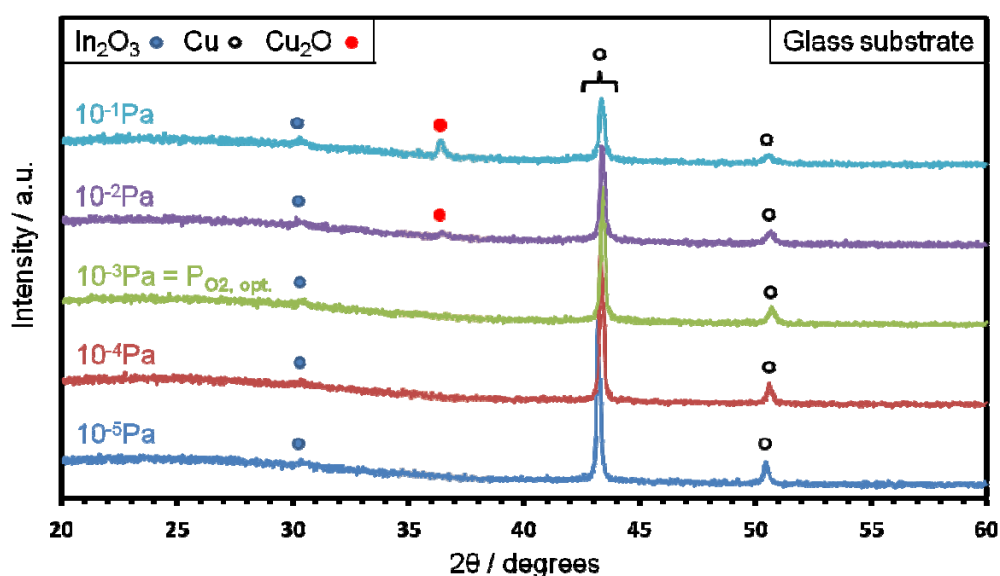


図 3-2 種々の酸素圧において熱処理後の X 線ディフラクトメーターの結果

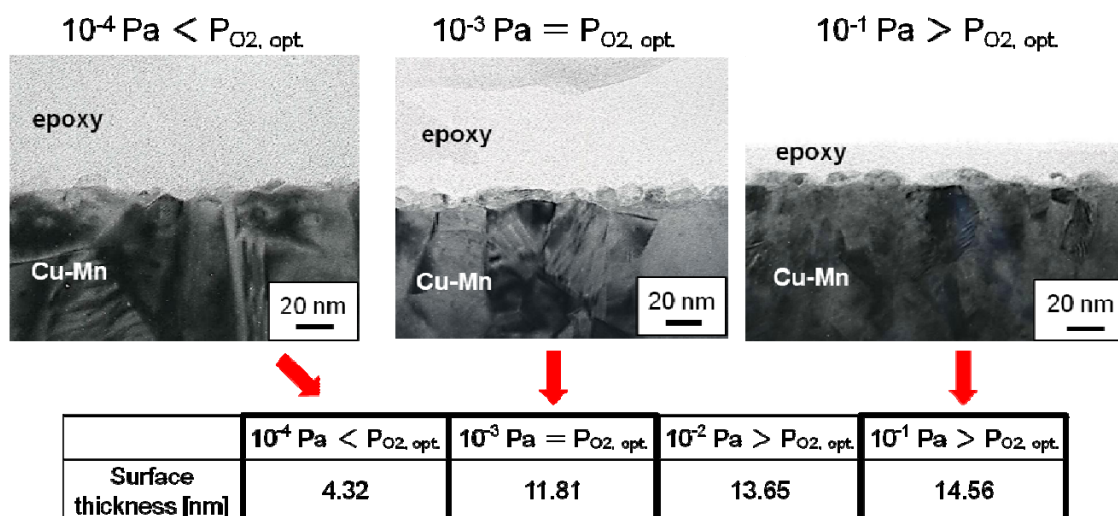


図 3-3 種々の酸素圧において熱処理後の断面 TEM 像

3-2 熱処理によるコンタクト抵抗値と界面組織の関連性の調査

① (電極とITO界面のコンタクト抵抗値)

コンタクト抵抗を精密に測定するために、図3-4に示すような成膜・リソグラフィーを工程を採用した。特に Cu-Mn 電極の幅と ITO の幅を合致させることによって、Cu-Mn 電極間に電圧を付加した場合に電界が漏れ出て抵抗値の精度が劣化することを防止した。

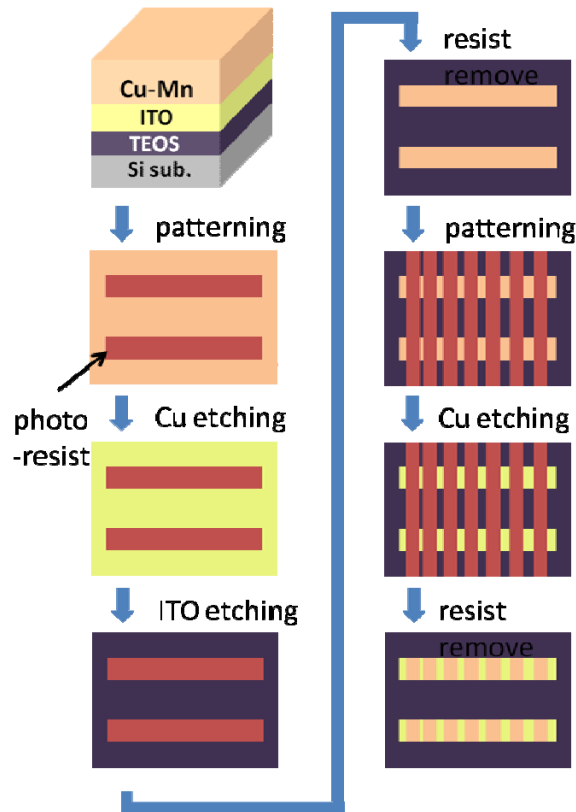


図3-4 コンタクト抵抗測定のための成膜・リソグラフィー工程

上記電極パターンを用いてコンタクト抵抗を測定した結果を図3-5に示す。この図では同じ条件で熱処理を行った場合の膜の抵抗率も同時にプロットした。コンタクト抵抗値は、どの酸素圧においても $10^{-5}\Omega\text{cm}$ の範囲であり、Cu-Mn と ITO は良好なコンタクト特性を示した。中でも酸素圧が $5 \times 10^{-3}\text{Pa}$ において最小値を示した。実際のタッチパネルの配線では抵抗率（比抵抗）が $5\text{m}\Omega\text{cm}$ 以下であることが要求されており、この条件を満足し、かつ、低いコンタクト抵抗を発現する酸素圧は $1 \times 10^{-4}\text{Pa}$ から $5 \times 10^{-3}\text{Pa}$ の範囲であることが判明した。

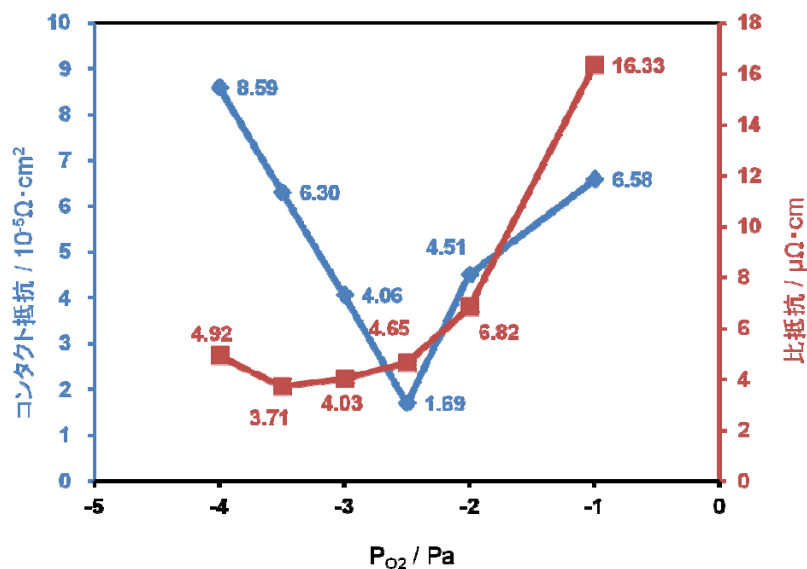


図3-5 比抵抗とコンタクト抵抗の酸素圧依存性

② （界面反応組織とコンタクト抵抗の関係）

3種類の酸素圧で熱処理を行った試料において界面反応を調査するために断面 TEM 観察を行った。その結果を図3-6に示す。図の上段は膜全体を俯瞰する TEM 像であり、下段は赤枠で囲った部分の拡大図を示す。界面にはコントラストが薄い領域があり、界面層の形成が確認できた。界面層の厚さは酸素圧の増加に伴って減少する傾向がある。

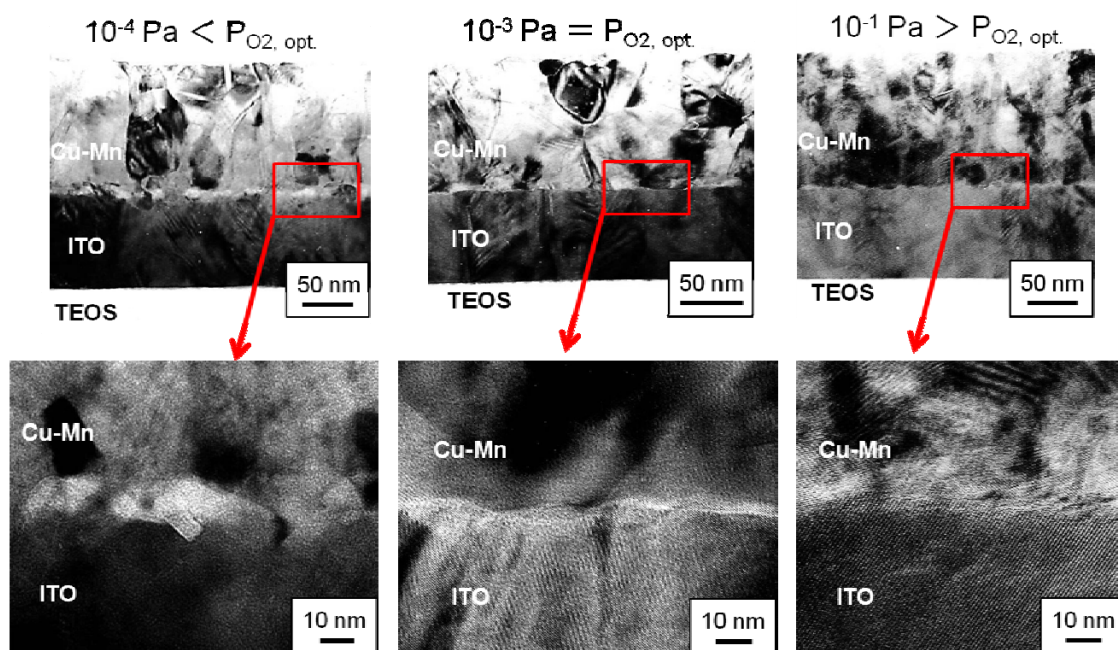


図3-6 種々の酸素圧において熱処理後の断面 TEM 像

次に、断面 TEM 試料のガラス基板側から Cu-Mn 合金膜の表面にかけて EDS 分析を行った。その結果を図3-7に示す。酸素圧 10^{-4}Pa と 10^{-3}Pa では、ITO と Cu-Mn 界面に多くの Mn が観測され、Mn が ITO と反応して界面層を形成したことがわかる。また、Cu-Mn 表面に存在する Mn は 10^{-3}Pa のほうが 10^{-4}Pa より増加しており、Mn の外部酸化が有効に作用して抵抗減少をもたらしたことがわかる。Mn が ITO と反応した結果解離した In と Sn も表面酸化物として Cu-Mn 表面に存在しており、その量はやはり 10^{-3}Pa において最大となっている。一方で、酸素圧が 10^{-1}Pa になると界面、表面の Mn 量が減少している。このことは Cu 自体の酸化が生じる際に、Mn も同時に内部酸化され、界面・表面に出てこなかったためである。

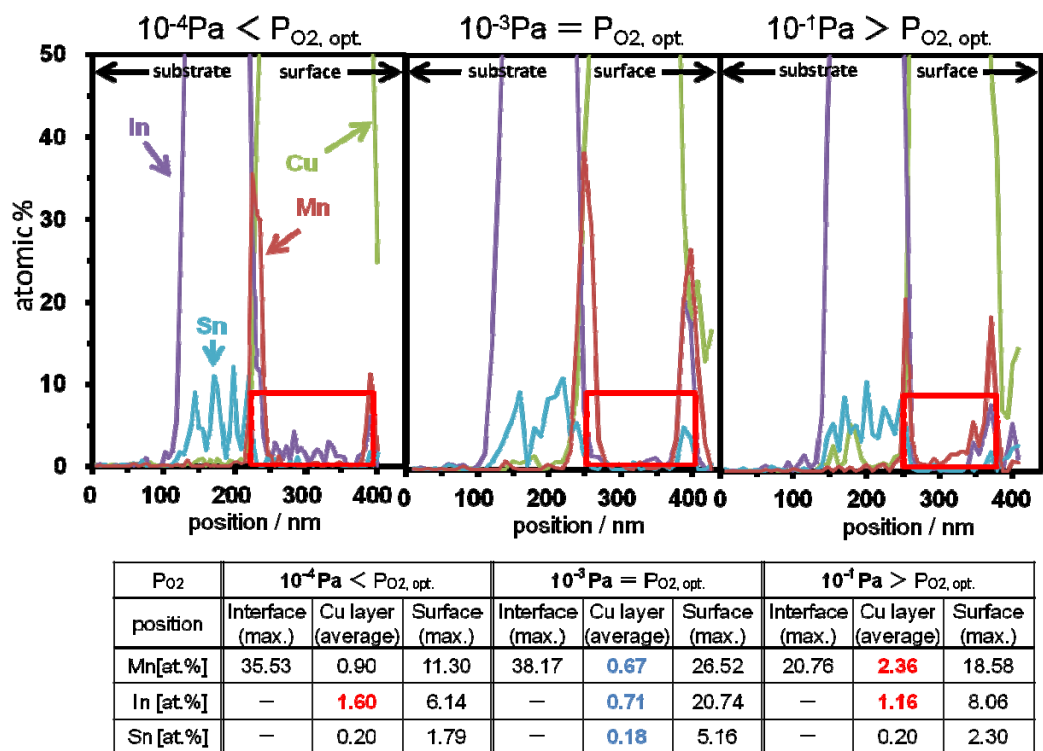


図3-7 図3-6 で示した3つの試料の組成分布

第4章 本論ータッチパネルプロセスによる装置性能評価

4-1 試料搬送機構の最適化によるタクトタイム短縮化及び生産コスト低減 検討結

ロードロック室が無い状態では、ヒーターと基板が同じ部屋の中にあるため、冷却にかなりの時間を要していた。そのため、ロードロック室を設置し、基板をヒーターとは別のチャンバーにて冷却することで冷却時間を短縮し、タクトタイムの短縮化を検討した。

ロードロック室と熱処理室を連結し、試料搬送機構を設置したところ、基板の反りが大きくロードロック室から処理室への搬送位置調整の必要があることがわかった。現在は搬送機構を再調整しており、搬送機構の最適化および冷却時間短縮のための実験を継続実施中である。

4-2 加熱・冷却速度の最適化

平成 22 年度地域イノベーションの結果より、真空度の悪い熱処理装置では、熱処理時の加熱速度が抵抗値の低減に寄与し、ロードロック室を備えた真空度の良い熱処理装置で処理すれば、加熱速度には依存しない結果が得られている。今回は前項（4-1）にも記載したように搬送機構の再調整が必要になっているため、ロードロック室付きでの熱処理実験は継続中で、その効果は検討中である。

ロードロック室が無い状態でのアニールテスト結果を示す。到達圧力は 3×10^{-5} Pa 以下とし、 O_2 流量、基板温度、処理時間をパラメーターとした。加熱速度依存性は小さく、一定と仮定した。全体的に熱処理後の抵抗値が下がりきっておらず(抵抗値が最小となったところでも $5.6 \mu\Omega\text{cm}$)、条件によっては Cu の内部酸化が起こった。特に高温で長時間の処理時に抵抗値が悪いことから、チャンバーからのアウトガスの影響が考えられる。したがって、抵抗値低減にはロードロック室が必須と言える。なお、加熱速度及び冷却速度に関しては、ロードロック室熱処理炉にて今後確認予定である。

表 4-1 アニール処理テスト結果

No.	O2 流量 (cc)	温度 (°C)	処理時間 (min)	到達圧力 (Pa)	処理圧力 (Pa)	比抵抗 (Ωcm)
1	0.1	350	30	6.70E-06	6.50E-04	6.98E-06
2	2.4	350	30	2.50E-05	4.80E-04	9.12E-06
3	4.5	350	30	1.50E-05	1.00E-02	1.10E-05
4	2.4	400	30	9.80E-06	4.80E-03	8.11E-06
5	2.4	400	120	1.10E-05	4.80E-03	1.07E-05
6	0.3	350	30	1.70E-05	1.30E-03	7.18E-06
7	0.1	400	30	9.60E-06	6.60E-04	7.44E-06
8	0.1	350	30	9.80E-06	7.00E-04	7.90E-06

4-3 雰囲気ガス導入の精密制御

熱処理後の抵抗値へのアウトガスの影響は大きいものの、前項（4-2）の結果より、 O_2 導入量が少ない方が抵抗値が下がる傾向にある。よって、更に小さい流量で導入制御を可能とするマスフローの取り付けを検討した。

4-4 ガス導入経路の最適化

ガス導入経路についても、残留ガスの影響が大きく現ガスラインでの状況測定結果を下図に示す。抵抗値の面内分布であるが、非常にバラついており、その原因として①酸素分圧のムラ、②温度分布のムラ、③残留ガスの影響が考えられる。各要因の影響を分別し、ガス導入経路依存性を調査し、各条件の最適化を検討する。

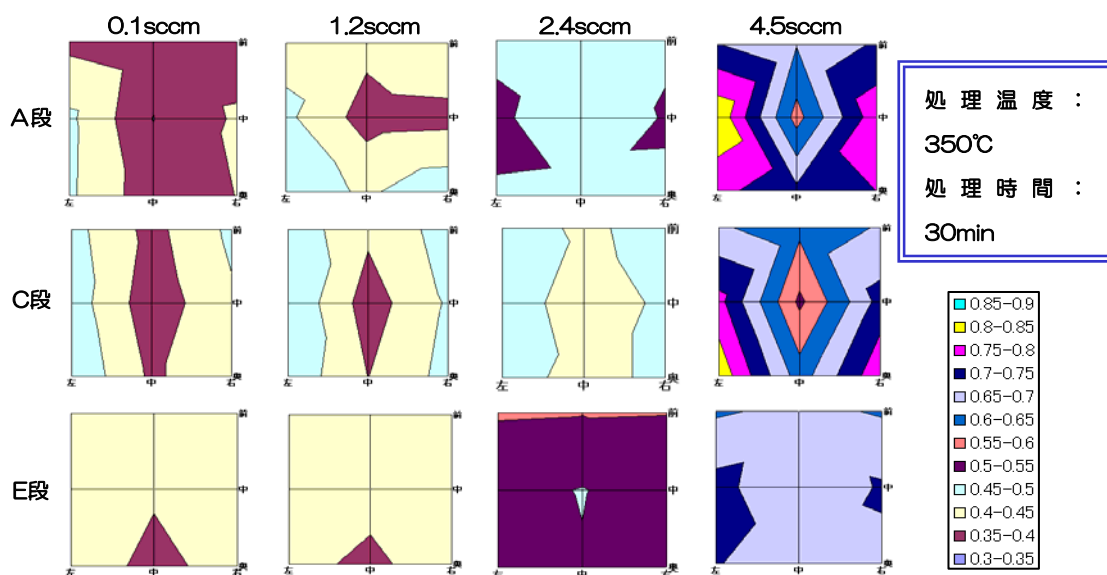


図4-1 熱処理後のウェハー面内の抵抗値分布

第5章 全体総括

5-1 本事業の研究開発成果

平成22年、23年度と2年間にわたり、本事業の研究開発を行ってきたが、昨年3月11日「東日本大震災」の発生により、今年度（平成23年度）の当初計画の実行が大幅に（約6ヶ月）遅れてしまった、ロードロックチャンバー部の作製及び熱処理炉本体への装着は終了し、本事業の研究期間は終了したものの、その評価について継続検証中である。

本事業の目標としたロードロックチャンバー部を装着した熱処理装置に関して各項目の目標に対する評価を報告する。装置の総括成果を表5-1に示す。

表 5-1 ロードロックチャンバー部装着熱処理装置の評価結果

		項目	本開発目標	事業成果・課題	達成度
		基板サイズ(mm)	400x500x0.5t	370x480x0.5t	100%
		基板枚数	5 枚/バッチ	5 枚/バッチ	100%
大型熱処理装置	プロセスチャンバー部 (熱処理室)	到達真空度	10-6Pa	10-6Pa	100%
		基板加熱速度	50℃/min (ロードロック装着時測定)	15℃/min (炉本体での測定)	-
		最高到達温度	450℃	453℃	100%
		酸素分圧制御	2x10-4Pa (10-4～10-2Pa)	2x10-4Pa (10-4～10-2Pa)	100%
		温度分布(基板)	±10℃以内	±2(～11)℃以内	100%
		酸素分圧分布	±20%	抵抗率変化評価	90%
	ロードロックチャンバー部 (前室)	到達真空度	10-5Pa	10-5Pa	100%
		基板搬送方式	大気圧	複数枚(5枚) 同時一括搬送	100%
			超高真空 (10-5Pa)	同上	100%
		基板冷却方式	N2 ガスパージによる冷却	N2 ガスパージによる冷却	100%

5-2 研究開発後の課題と対策

研究開発後の課題として、タッチパネルプロセスによる装置性能評価において、実基板による実験データ調査を継続中であり、研究開発後の課題抽出も今後の作業となる。現在、本事業に関して平成 24 年度で補完研究を計画しており、下表の実施内容を想定している。

平成 24 年度の補完研究で実行する内容とスケジュールを表 5-2 に示します。

表 5-2 本事業の平成 24 年度補完研究の内容

項目	測定方法	対策
各基板における温度分布	基板に熱電対を取り付け、面内・面間分布を実測	各々のヒータへの出力調整
酸素分圧検証	実基板による抵抗値変化にて確認	酸素ノズルの取り付け位置及び形状最適化
チャンバーからのアウトガス及び残留ガスの影響	(アウトガスを焼きだす。) クランプテストによる真空度測定	チャンバーベーキング温度制御

	平成 24 年度				凡例
	4～6月	7～9月	9～12月	1～3月	
各基板の温度分布測定	→	→	→	→	→ : 実験 → : 対策 → : 検証
酸素分圧の検証	→	→	→	→	
アウトガス&残留ガス測定	→	→	→	→	

5-3 今後の事業化展開

① 本事業の成果を応用した製品等；下表の2件を挙げる。

	製品等の名称	製品等の概要（用途、特徴等）
(1)	超高真空熱処理装置	現状では存在しない超高真空かつ精密雰囲気制御が可能な熱処理装置を提供できる。情報機器や情報家電に利用される銅合金配線を熱処理し、低抵抗かつ高信頼性の配線構造を形成することを可能とする。
(2)	タッチパネル基板	高性能タッチパネル基板を提供できる。現状のタッチパネルと比較して、タッチパネル面積を拡大でき、位置検出精度と速度を向上することができる。

② 本事業終了から事業化に至るまでのスケジュール；下表の通り計画する。

製品等の名称		熱処理装置				
開発事業者		コアテクノロジー株式会社				
スケジュール	事業終了後の年度	24 年度	25 年度	26 年度	27 年度	28 年度
	サンプルテスト	→				
	追加研究	→	→	→		
	試作機出荷		→			
	量産機製造に向けた設備投資			→	→	
	量産機製造・販売	タッチパネル		→	→	→
		半導体		→	→	→
		液晶パネル		→	→	→
		有機 EL		→	→	→
売上見込	売上高（千円）		200,000	400,000	1,000,000	4,500,000
	販売数量（単位を記載）	0	2	4	7	30
	売上高 根拠	2年目： 2台 200,000 （タッチパネル用に1台, 半導体製造試作ラインに1台）				
		3年目： 4台 400,000 （タッチパネル用に2台, 半導体製造試作ラインに2台）				
売上見込	売上高 根拠	4年目： 7台 1,000,000 （タッチパネル用に5台, 半導体製造ラインにクラスター装置@2.5億を2台）				
		5年目： 30台 4,500,000 （タッチパネル/液晶分野20台:20億、半導体分野@2.5億を8台；20億、有機EL分野@2.5億を2台；5億）				
		1年目は、ガラス基板用量産製造用製造装置の開発に着手、2年目以降は、タッチパネル基板の熱処理装置として販売を開始する。同時に半導体製造向けの試作・量産用の製造装置の開発に着手し試作ラインに販売する。5年目には、液晶、有機EL等の分野へ本格的に販売を開始する。				

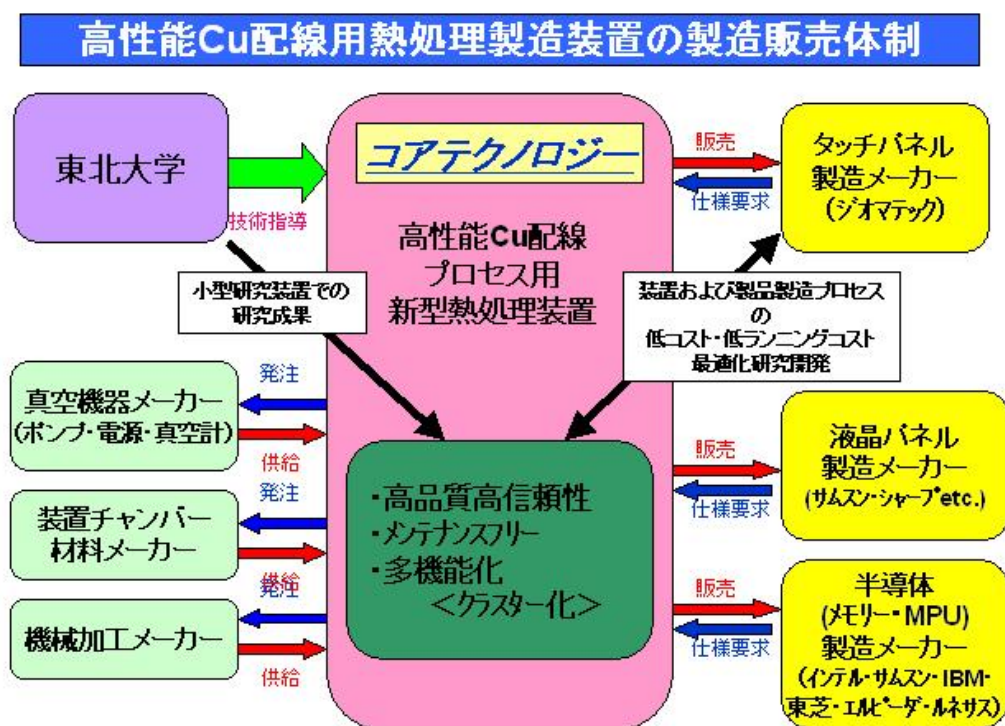
製品等の名称		タッチパネル基板				
開発事業者		ジオマテック株式会社				
スケジュール	事業終了後の年度	24 年度	25 年度	26 年度	27 年度	28 年度
	試作品出荷	→				
	追加研究	→	→			
	量産製造の設備投資		→	→		
	量産品製造・販売		→	→	→	→
	売上高（千円）	150,000	300,000	500,000	700,000	900,000
売上見込	売上高の根拠	上記の表の算出根拠は、下記の通り。 まず、市場規模の金額（総額）は、最終製品段階での価格であるので、そのうちの5％が電極膜の価格である。そして、その金額のうちの弊社設備においての加工分の金額をシェアとして予測した。現状、弊社のタッチパネルの電極膜のシェアは、市場全体の5％程度で推移しており、製品別でみるとカーナビゲーションなどの車載用途分野は40％程度、携帯電話、PDA などの形態情報端末分野では30％程度となっている。 現状の弊社のシェア獲得状況と本開発電極の優位性から見て、5年後にシェア10％超は十分到達可能と考えられる。 また、製品単価は現状弊社で加工している金属電極膜の価格を元に設定した。 製品単価は、この市場でのこれまでの経験から、当初5年間は、1年で1～2割のコストダウン要求がある為年を追うにつれて、若干下げた設定とした。販売数量は、370mm×480mm サイズのガラス基板の枚数で換算。 なお、当該市場は、随時新製品の投入が有り、市場にこれまでにない新規製品が現れ、その製品へ本タッチパネルが搭載された場合などには、一気に売上げ高が想定を上回る可能性もある。				

③ 事業化の体制図

コアテクノロジーの体制図

事業終了後の製造・販売体制を次図に示す。タッチパネルメーカーとしてはジオマテックを念頭に置いている。また、半導体メーカーとしては、現時点で Cu-Mn 合金配線の量産試作を実施しながらも適切な熱処理装置がないために所望の性能が得られていない Intel、サムスンなどを念頭に置く。

また、液晶パネルメーカーとしては、半導体と同様の状況にあるサムスンなどを念頭において製造・販売を行う。



ジオマテックの体制図

タッチパネル基板をタッチパネルに組み立てる製造メーカーに納入し、そこから液晶 TV や携帯電話などの製品メーカーに販売する。

