

平成20年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「ナノ位置決めテーブルとマスクパーティクル完全除去装置の開発」

研究開発成果等報告書

平成21年3月

委託者 中国経済産業局
委託先 財団法人ちゅうごく産業創造センター

目次

第1章 研究開発の概要

1. 研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1.1 研究の背景	3
1.2 研究の目的	3
1.3 研究目標	4
2. 研究体制	7
2.1 研究組織	7
2.2 管理体制	7
2.3 研究員及びプロジェクト管理員	9
2.4 経理担当者及び業務管理者	11
3. 成果概要	12
3.1 二次元ナノ位置決めテーブルの開発	12
3.2 自律分散型小型サーボモータコントローラ及びドライバ制御系の開発	12
3.3 マスクパーティクル完全除去装置の開発	13
3.4 川下ユーザーの評価	13
3.5 今後の課題	13
3.6 プロジェクトの運営管理	14
4. 当該研究開発の連絡窓口	14

第2章 本論

1. 二次元ナノ位置決めテーブルの開発	15
1.1 XY位置決めテーブルについて	15
1.2 二次元ナノ位置決めテーブルの設計及び製作	15
2. 自律分散型小型サーボモータコントローラ及びドライバ制御系の開発	16
2.1 市販サーボモータコントローラ・ドライバによる駆動実験と アルゴリズムの検討	16
2.2 小型高速リニアサーボ用新回路とアルゴリズムの開発	17
3. マスクパーティクル完全除去装置の開発	17
3.1 ナノピンセット法パーティクル完全除去機構の開発	17
3.2 ナノ位置決めテーブルを用いたパーティクル除去	19
3.3 レーザー光によるパーティクル除去方法の研究	21
3.4 大気圧プラズマによるパーティクル除去方法の研究	21
3.5 ナノ位置決めテーブルとマスクパーティクル完全除去装置のユーザー評価	21
3.6 今後の課題	21
4. プロジェクトの運営管理	21
4.1 研究開発進捗管理	21

4.2 研究開発推進会議及び事業化検討会の開催	21
-------------------------------	----

第3章 その他

1. 研究発表・論文投稿	23
2. 特許の状況	23
3. プレス発表	23
4. 参考文献	23

第4章 全体総括

1. 研究背景	24
2. 研究目的及び目標	24
3. 研究成果	24
4. 今後の課題	24
5. 事業化に向けての取り組み	25

第1章 研究開発の概要

1. 研究開発の背景・研究目的及び目標

1.1 研究の背景

半導体デバイスには24ヶ月で集積トランジスタ数が倍増するというムーアの経験則がある。

この法則は30年にわたって続いており、平成18年(2006年)における加工寸法は65nm(ナノメートル)で、平成19年2007年(2007年)現在、台湾TSMCではすでに量産が始まっている。平成22年(2010年)には次世代45nmの時代が来るが、米国Intelは、平成20年(2008年)末から平成21年にかけて量産するという計画を発表している。

また、学会や株式会社半導体先端テクノロジーズ(Selete)では、次の加工寸法32nm以降の世代の将来技術として、全く新しい波長13.5nmのプラズマEUVを用いる露光方法と新型マスクの開発や、全く新しい発想のナノインプリント技術の創生などの研究が進み始めているが、実用化にはまだ時間を要する。

前記のように、次世代半導体技術として高集積化の象徴である露光装置においては、レジスト露光波長の問題がよく議論される。本研究のターゲット領域である加工寸法45nm世代では波長193nmのArFレーザによる液浸露光法がほぼ確立され、その他は従来技術の延長で実現できるといわれており実用性は高い。

1.2 研究の目的

本研究の目的は、加工寸法45nm世代の半導体産業において、nmオーダーの微細距離から300mm程度の大距離を高速且つ正確な搬送を実現するナノ位置決めテーブルを開発し、この技術を用いて石英製のマスク上のパーティクル(異物)を除去する装置を開発しようというものである。

ナノ位置決めテーブルは、その応用場面としては、45nm世代以降では極めて高精度が求められるため、露光装置における位置合わせ、リペア装置における指定される不良位置への移動など、マスクに限らず種々の半導体加工における要求に応えられるようにする。

また、パーティクル除去装置においては、簡便に使用でき、且つ、安価となるように大気中で使用できることを目的とし、マスクを本研究のターゲットとして取り上げた。マスクは写真の乾板に相当するもので、パーティクルがあつてはこれを原版とするすべての半導体デバイスに欠陥が投影されるため、パーティクル・ゼロが要求される。

しかし、現状技術でのパーティクル除去は、硫酸や過酸化水素水など水系薬品による洗浄と超純水洗浄に頼っており、この方法では一度落ちたパーティクルが、水系中に漂っている間に再び基板に付着するケースが多く、乾燥後、基板上のパーティクル数を検査して不合格ならば何度でも繰り返し洗浄を行うほかはない。この繰り返しの回数は、環境のクリーン度と薬品や超純水の純度によるが、洗浄後、検査して見なければ合格か否かは判らず、不合格ならば再度水系薬品洗浄を繰り返さなければならない。

以上の理由により、マスク価格は現在、1枚あたり数百万円から数千万円となっており、しかもメモリやLSI、CPUなど回路の違い、複雑さによっては20枚以上のマスクを使用する場合があるため、半導体デバイスメーカーのコスト負担は極端に重くなっている。

したがって本研究では、新規に提案するパーティクル除去技術により、マスク作成工程の合理化に貢献することを目的としている。

1.3 研究目標

本研究開発の具体的な課題及び目標は、次のとおりである。

1.3.1 二次元ナノ位置決めテーブルの開発

(1) 目標仕様

本研究開発のスタートに当たって、高精度XYテーブルであるナノ位置決めテーブルの目標仕様値を次のように掲げた。

装置の仕様	
ストローク	X軸：320mm
	Y軸：320mm
テーブルサイズ	φ320mm
ガイド方式	エア静圧
駆動方式	シャフトモータ（リニアモータ）
真直度	0.5 μm/200mm
姿勢精度	1秒
最大速度	300mm/sec
位置決め分解能	10nm
スケール基準位置決め精度	0.1 μm
速度ムラ	0.1%以下
位置決め整定時間	100ms以下
積載荷重	5kg

(2) 二次元ナノ位置決めテーブル用ブリッジの設計及び製作

試作したナノ位置決めテーブルとレーザー顕微鏡を組み合わせて後述 3.3 項のパーティクル完全除去装置を製作する。そのため、可動テーブルを跨ぐブリッジを低膨張材料で開発し、ここにレーザー顕微鏡ヘッドを取り付ける。

(3) レーザー顕微鏡ヘッド付き二次元ナノ位置決めテーブルの組み立てと評価

ナノ位置決めテーブルを製作後 (2) 項で製作したブリッジを新たに組みつけ、更にレーザー顕微鏡のヘッド部分を取り付ける。さらに、設置場所周辺の振動による影響をなくすため、アクティブ除振台を設置してこの上にナノ位置決めテーブルを取り付け、重量が増加した後もナノ位置決めテーブルの位置精度が得られるかを測定し上記仕様を確認する。

その後、安田工業株式会社からローツェ株式会社へ移送し、調整し設定する。

1.3.2 自律分散型小型サーボモータコントローラ及びドライバ制御系の開発

(1) サーボモータコントローラ・ドライバのナノ位置決めテーブルによる駆動実験とアルゴリズムの検討

まず最初に、市販のモーションコントローラとサーボドライバを用いて、デジタルアナロ

グ制御の組み合わせで高精度・高速化駆動システムを開発し、安田工業株式会社で開発したナノ位置決めテーブルで位置決め分解能他の仕様を測定する。

この後さらに、高位置決め分解能 1nm に近づけ、加えて繰り返し位置決め精度をレーザー顕微鏡分解能 120nm 以下を実現するために、平成 20 年度導入したアクティブ除振台を用い、且つ、新規アルゴリズムを開発して駆動実験する。

(2) コントローラ・ドライバー体型構成の開発

前記(1)項では、市販のコントローラとドライバを組み合わせ、リニアサーボモータの制御システムを開発するが、(1) のナノ位置決めテーブルを事業化し販売する際、制御系がこのままでは、コスト的に問題があり、また形状が大きすぎて競争力が懸念される。従って、コントローラとドライバを一体化して小型化した構成を設計し、新製品を開発する。そのためには、新たに回路を設計する必要がある。そのためには論理ないしトライアンドエラーを含む研究により回路開発が必要で、加えてリニアサーボモータ駆動のためのアルゴリズムの開発も必要となる。

1.3.3 マスクパーティクル完全除去装置の開発

(1) ナノピンセット法パーティクル完全除去機構の開発

当プロジェクトアドバイザー服部博士のコメント等から、現在のところナノピンセットによるパーティクル除去がもっとも現実的と考えられる。これはナノピンセットとパーティクルとをレーザー顕微鏡の視野内に捕え、顕微鏡で観察しながらパーティクルを 1 個ずつ摘んで除去しようとするものである。

(2) レーザー光によるパーティクル除去方法の研究

パーティクルにレーザーを照射し、その光圧からパーティクルを除去しようとするもので、平成 19 年度から福山大学工学部と共同研究を開始する。

(3) 大気圧プラズマによるパーティクル除去方法の研究

大気圧プラズマ発生装置は、株式会社アドテック・プラズマテクノロジー（広島県福山市）から借用する。この装置は、窒素やアルゴン、場合によっては酸素を混合した気流中で発生させたプラズマ気流を、細管を通してレーザー顕微鏡下でパーティクルに吹き付けて除去しようとするものである。

(4) マスクパーティクル完全除去装置のユーザー評価試験

以上の開発研究は平成 20 年末までに完了させ、平成 21 年の早い段階で、マスクメーカーと協議して、本装置の評価を依頼する。

また、ナノ位置決めテーブル単独についても市場性を評価検討する予定である。

1.3.4 プロジェクトの運営管理

(1) 研究開発進捗管理

共同研究体構成員との連携・調整および研究開発等に係る打合せを適宜実施して、事業の進捗状況把握、研究開発課題への迅速対応等によりプロジェクトの推進管理を行う。また、研究開発で取得する機械装置等については、適正な経理処理に努めると共に、取得後においては、管理台帳等により適正な管理を行う。

(2) 研究開発推進会議及び事業化検討会の開催

構成機関全体による研究開発推進会議および事業化検討会を定期的を開催して、研究開発全体の進捗状況の把握、課題の抽出・検討、研究成果の評価および事業化計画の策定・検討等を行うことにより、研究開発の円滑・推進を図る。

また、研究開発成果について、報告書作成の検討およびとりまとめを行う。

研究実施場所

上記 1.3.1～1.3.4 の研究開発実施場所

〔管理法人〕

財団法人ちゅうごく産業創造センター（最寄駅：J R 広島駅）

〒730-0041 広島県広島市中区小町4番33号 中国電力ビル2号館2階

〔再委託先〕

ローツェ株式会社（最寄駅：J R 福塩線 道上駅）

〒720-2104 広島県福山市神辺町道上1588番地の2

安田工業株式会社（最寄駅：J R 山陽本線 里庄駅）

〒719-0303 岡山県浅口郡里庄町浜1160番地

株式会社ジイエムシーヒルストーン（最寄駅：J R 陸羽東線 最上駅）

本社（最寄駅：J R 陸羽東線 赤倉温泉駅）

〒999-6105 山形県最上郡最上町大字富澤大明神4466番地の1

東京支店（最寄駅：J R 南武線 登戸駅）

〒214-0031 神奈川県川崎市多摩区東生田1-13-1

委託期間

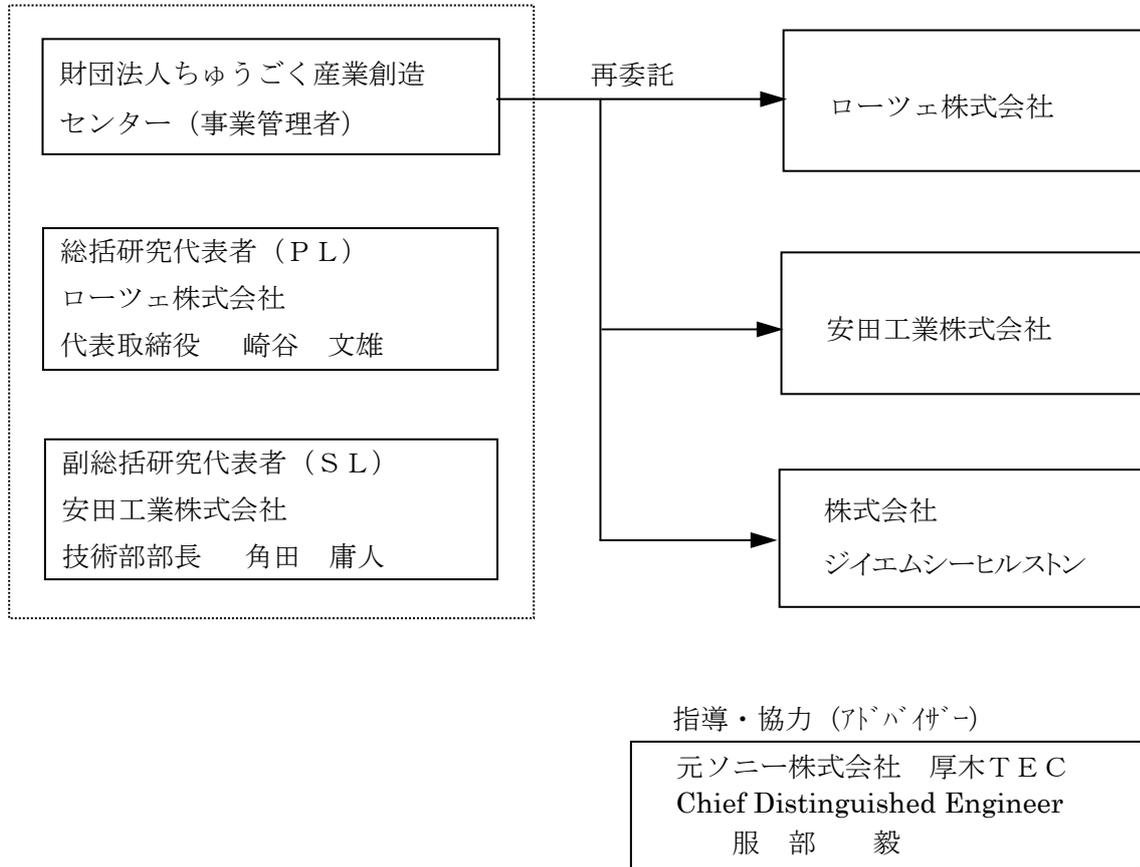
平成18年12月20日 から 平成21年3月31日まで

2. 研究体制

2.1 研究組織

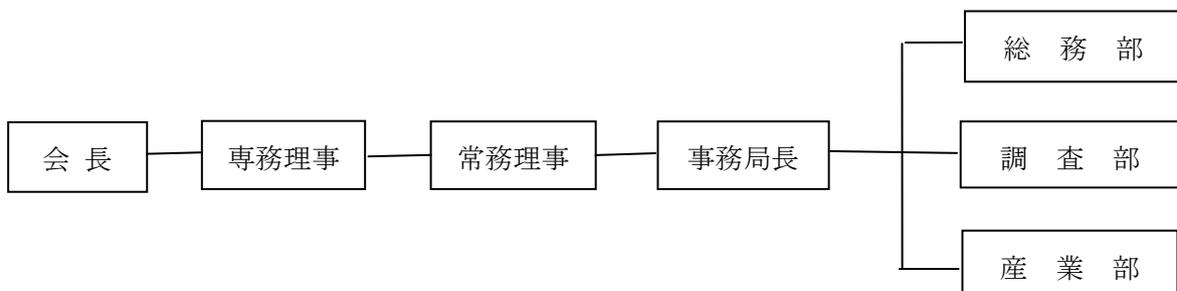
〔プロジェクト事業管理者：財団法人ちゅうごく産業創造センター〕

研究組織全体



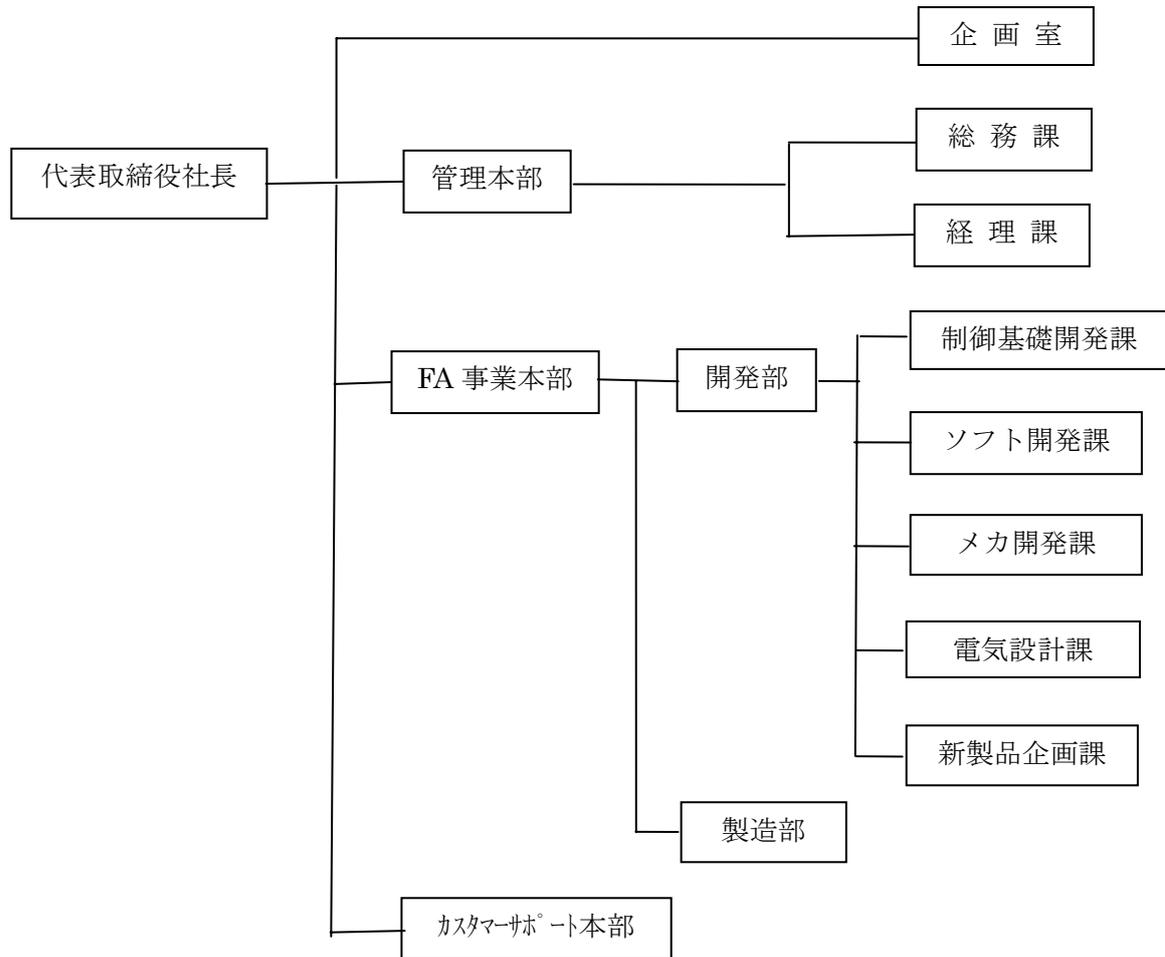
2.2 管理体制

2.2.1 事業管理者 〔財団法人ちゅうごく産業創造センター〕

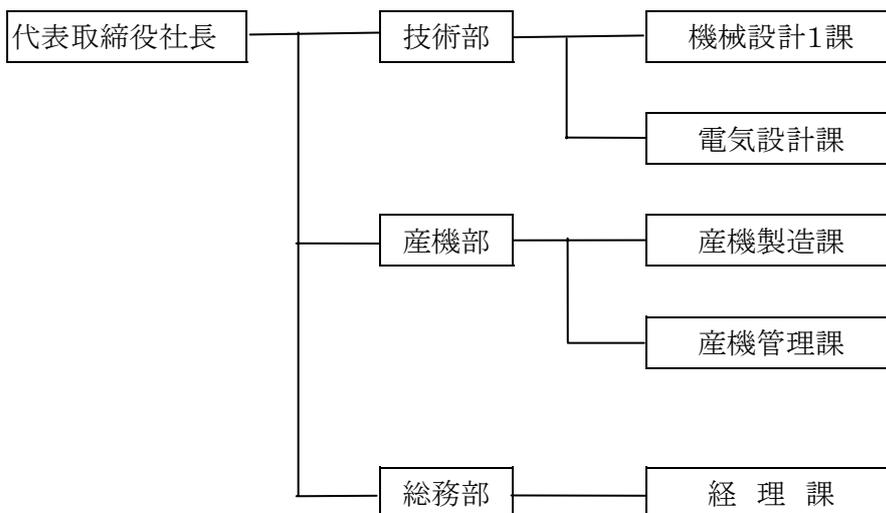


2.2.2 再委託先

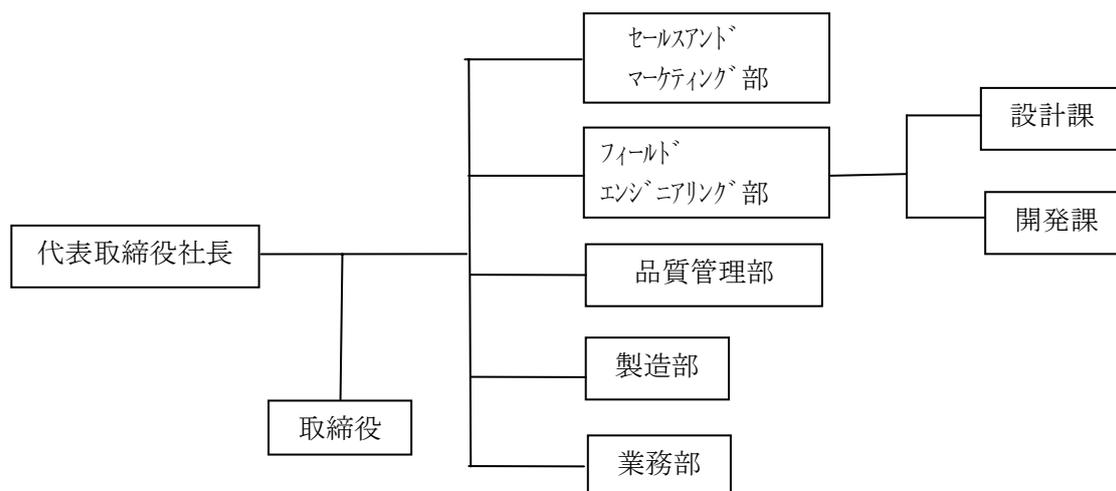
[ローツェ株式会社]



[安田工業株式会社]



[株式会社ジイエムシーヒルストン]



2.3 研究員及びプロジェクト管理員

2.3.1 プロジェクト管理員 [財団法人ちゅうごく産業創造センター]

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
山重 雅春	事務局長	第1章 1.3.4の(1)、(2) 第2章 4.1、4.2
砂谷 誠一	産業部 産業創出部長	
道中 眞典	産業部 部長	
平野 義男	産業部 部長	
須安 治彦	産業部 部長	
土井 早苗	総務部 主任	

2.3.2 研究開発推進会議及び事業化検討会委員

	氏名	所属・役職	
委員長	崎谷 文雄	ローツェ株式会社 代表取締役社長	PL
副委員長	角田 庸人	安田工業株式会社 技術部 部長	SL
委員	安田 之彦	安田工業株式会社 代表取締役社長	
委員	石山 里丘	株式会社ジイエムシーヒルストン 代表取締役社長	
委員	坂田 勝則	ローツェ株式会社 FA事業本部 開発部 副部長	
委員	藤本 敬司	ローツェ株式会社 FA事業本部 開発部 新製品企画課 技師	
委員	玉造 大悟	ローツェ株式会社 FA事業本部 開発部 制御基礎開発課 課長	
委員	福崎 義樹	ローツェ株式会社 FA事業本部 開発部 制御基礎開発課 主任	

委員	櫻井 俊男	ローツェ株式会社 企画室 調査役	
委員	田辺 洋始	安田工業株式会社 産機部 次長	
委員	鳥越 弘啓	安田工業株式会社 産機部産機製造課 課長	
委員	佐藤 久貴	安田工業株式会社 産機部産機製造課 係長	
委員	大下 功	安田工業株式会社 技術部機械設計1課 主任	
委員	国司田 潤	安田工業株式会社 技術部電気設計課 技師	
委員	服部 毅	元 Sony Chief Distinguished Engineer	アドバイザー
事務局	平野 義男	財団法人ちゅうごく産業創造センター 産業部 部長	

2.3.3 再委託先研究員

[ローツェ株式会社]

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
崎谷 文雄	代表取締役社長	第1章、1、2、3、 第2章、1、2、3、 第3章、第4章
坂田 勝則	FA 事業本部 開発部 副部長 兼新製品企画課 課長	第1章、1.3、3.1、3.3 第2章、1.1、1.2、3.1、3.2
藤本 敬司	FA 事業本部 開発部 新製品企画課 技師	第1章、2.1 第2章、2.1
玉造 大悟	FA 事業本部 開発部 制御基礎開発課 課長	第1章、3.2 第2章、2.1、2.2
福崎 義樹	FA 事業本部 開発部 制御基礎開発課 主任	第1章、3.2 第2章、2.1、2.2
内山 昌彦	FA 事業本部 開発部 制御基礎開発課 課員	第1章、3.3、3.4 第2章、3.1、3.2、3.4
安福 和弘	FA 事業本部 開発部 制御基礎開発課 課員	第1章、3.2 第2章、2.1、2.2
渡部 由久	FA 事業本部 開発部 制御基礎開発課 課員	第1章、3.2 第2章、2.1、2.2
本宮 秀俊	FA 事業本部 開発部 制御基礎開発課 課員	第1章、3.2 第2章、2.1、2.2
櫻井 俊男	企画室 調査役	第1章、1、2、3、 第2章、3.3、4 第3章、第4章

〔安田工業株式会社〕

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
安田 之彦	代表取締役社長	第1章、1、2、3、第2章、1.1、1.2、第3章、第4章
角田 庸人	技術部 部長	第1章、1、2、3、第2章、1.1、1.2、第3章、第4章
田辺 洋始	産機部 次長	第1章、1.3、3.1 第2章、1.1、1.2
鳥越 弘啓	産機部産機製造課 課長	第1章、1.3、3.1 第2章、1.1、1.2
佐藤 久貴	産機部産機製造課 係長	第1章、1.3、3.1 第2章、1.1、1.2
磯崎 学	産機部産機製造課 課員	第1章、1.3、3.1 第2章、1.1、1.2
大下 功	技術部機械設計1課 主任	第1章、1.3、3.1 第2章、1.1、1.2
国司田 潤	技術部電気設計課 技師	第1章、1.3、3.1 第2章、1.1、1.2

〔株式会社ジイエムシーヒルストン〕

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
石山 里丘	代表取締役社長	第1章、1、2、3.1 第2章、1.1、1.2、3.5
小林 孝太郎	フィールドエンジニアリング部マネージャー	第1章、3.1、第2章3.5

2.4 経理担当者及び業務管理者

2.4.1 事業管理者〔財団法人ちゅうごく産業創造センター〕

項目	担当者	役職
経理担当者	濱田 茂	総務部 部長
経理担当者	土井 早苗	総務部 主任
経理担当者	秋山 礼子	総務部 担当
業務管理者	山重 雅春	事務局 長

2.4.2 (再委託先)

[ローツェ株式会社]

項目	担当者	役職
経理担当者	岩瀬 好啓	管理本部経理課 課長
経理担当者	合田 之則	管理本部総務課 課長
業務管理者	橋本 勲	執行役員管理本部 本部長

[安田工業株式会社]

項目	担当者	役職
経理担当者	小林 邦明	総務部経理課 担当
業務管理者	大塚 康夫	取締役総務部長

[株式会社ジイエムシーヒルストン]

項目	担当者	役職
経理担当者	森 佳子	業務部 担当
業務管理者	鴻野 由美子	取締役業務部長

3. 成果概要

3.1 二次元ナノ位置決めテーブルの開発

平成19年度は、安田工業株式会社で、マスクパーティクル完全除去装置用の高精度XYテーブルとして、X軸、Y軸にそれぞれ2組のリニアモータ(株式会社ジイエムシーヒルストン製、商品名シャフトモータ)とリニアスケールを有する製品を試作した。平成20年度は、これにグラナイト製ブリッジを設計製作して石定盤に取り付け、そのブリッジに顕微鏡ヘッドとナノピンセット把持用マニピュレータを取り付けた。さらに、アクティブ除振台を導入し、ブリッジ等を組み付けた高精度XYテーブルを固定し、除振台はパッシブ状態で性能測定を行った。結果は、本プロジェクト当初の目標性能(3ページ、1-3-1(1)参照)を再現した。アクティブ除振台のパラメータ調整は、除振台メーカーの手によって、すべての部品を組み付けた後、装置を分解することなくローツェ株式会社に移設した後行った。

3.2 自律分散型小型サーボモータコントローラ及びドライバ制御系の開発

XYテーブルを使用してナノメートルオーダーの高精度位置決め制御を行うためには、テーブル自体の機械設計・製作だけでなく、制御系の設計・製作・調整も非常に重要な要素となる。まず、コントローラ・ドライバは、平成18年度に購入した市販品を組み合わせた制御系を使用し、アクティブ除振台にあわせて、パラメータを再調整した。

その結果、位置決め分解能(位置決め誤差の 3σ 値)0.78nm(目標10nm)、最高速度300mm/sec、速度ムラ0.013%以下(目標0.1%以下)、整定時間0.014秒以下(目標0.1秒以下)と、目標値

を大幅に上回ってクリアした。また、スケール基準の繰り返し位置決め精度は 1nm 以下であった。さらに、顕微鏡ヘッドを取り付けることにより、繰り返し絶対位置決め精度を測定できるようになり、結果は、顕微鏡の検出限界の 42nm 以下であった。

平成 20 年度下半期は、事業化の際必須のコストダウンに向けて、サーボモータ用一体型コントローラ・ドライバの新回路設計とアルゴリズムの開発、試作に入った。現在、開発が遅れているが、X 軸制御系のみコントローラ・ドライバの基礎開発が終わったが、現状での結果は位置決め誤差 (3σ) = 1.13nm で、前記の 3σ = 0.78nm より多少大きかった。

今後 XY 2 軸制御システムの完成は、実用化に向けて次年度からの補完研究で実施する。

3.3 マスクパーティクル完全除去装置の開発

平成 20 年度は、平成 19 年度に安田工業株式会社が開発した XY ナノテーブルをアクティブ除振台に載せて固定し、さらにナノ XY テーブル跨ぐ様にブリッジを製作し組み付け、このブリッジにレーザー顕微鏡のカメラ部分とマニピュレータを取り付け、さらにパーティクル除去用ナノピンセットをマニピュレータの先端に取り付けて、マスクパーティクル完全除去装置を組み立てた。この装置は平成 20 年 11 月 20 日、ローツェ株式会社に移設し、その後、種々の評価実験を実施した。具体的なパーティクル除去実験は、次のとおり実施した。

3.3.1 ナノピンセットによるパーティクル除去研究

ナノピンセットをアオイ電子株式会社（高松市）から購入し、ナノ XY テーブルに組み付けたレーザー顕微鏡下でモデル微粒子（シリカ粒子；1 μ m、2 μ m、5 μ m）の把持と粘着樹脂へのトラップに成功した。しかし、1 μ m 以下のパーティクルを掴むナノピンセットがなく、これ以下の微小領域は実現できなかった。

3.3.2

レーザー光（赤外波長 1480nm・出力 14.26mW、紫色波長 405nm、出力 17.4mW の 2 種、イオナイザー併用）或るいは大気圧プラズマを、400 倍可視光顕微鏡下で、モデル微粒子 0.07 μ m 酸化ケイ素（SiO₂）、0.27 μ m 炭化ケイ素（SiC）に当てながら観察したが、ほとんど除去できなかった。

3.4 川下ユーザーの評価

ナノ位置決めテーブルは、好評であったが、今後、機密保持契約を結んで評価してもらうこととなった。マスクパーティクル除去装置は、当初目標を 50nm 以上としたが、むしろ数 10 μ m 以上のパーティクル除去のニーズがあることが解った。

3.5 今後の課題

前項のパーティクル除去装置の市場情報から、ナノ位置決めテーブルは、精度を多少落としてコストダウンして市場要求に応える開発が必要である。ナノピンセットも、数十ミクロンの大きいものから小さいものまで除去できるものが必要となった。

一体型サーボモータコントローラ・ドライバーは、早急に改善し完成させる予定である。

3.6 プロジェクトの運営管理

共同研究体構成員との連携・調整及び研究開発等に係る打合せを適宜実施して、本事業の進捗状況の把握を行うとともに、研究開発課題への迅速対応等によりプロジェクトの進捗管理を行った。

また、研究開発全体における進捗状況の把握、課題の抽出・検討、研究成果の評価及び事業化計画の策定・検討を行うことにより、本プロジェクトの円滑な推進を図るため、「研究開発推進会議及び事業化検討会」を定期的を開催した。

4. 当該研究開発の連絡窓口

当該プロジェクトに関する連絡窓口は、下記のとおりである。

〒730-0041

広島市中区小町4番33号 中電ビル2号館

財団法人ちゅうごく産業創造センター

産業部 部長 平野 義男

電話：082-241-9927

FAX：082-240-2189

E-mail：zd0045h@pnet.gr.energia.co.jp

第2章 本論

1. 二次元ナノ位置決めテーブルの開発

1.1 XY位置決めテーブルについて

XYテーブルは、最上面に取り付けられたテーブルが左右(X)方向、前後(Y)方向に移動する機械で、このテーブルの上に材料を固定し治具を上下(Z)方向に当てて材料を加工する。

半導体デバイスの製造における露光装置では、複数枚のフォトマスクのXYを1枚ずつ位置合わせして露光し、何枚分も位置あわせて重ね露光を繰り返して1つの回路パターンを作成する。

本研究の開始当時は、XY移動距離がそれぞれ100mmから300mmのテーブル(例えば写真1-1を参照)の位置決め精度は、最高50nm程度であった。また、0.15mm角程度の狭い範囲では同様な高精度の原子間顕微鏡用XYテーブルがあったが、300mmウエハ全体の範囲にわたって5nm以下の高精度位置決め出来るXYテーブルは、当時は勿論、現在でも当グループ以外には、開発されていない。



写真 1.1 従来の XY テーブル

1.2 二次元ナノ位置決めテーブルの設計及び製作

開発した高性能「ナノ位置決めテーブル」の技術的特徴は次のとおりである。

a) 冷却機構を導入した高精度リニアモータ駆動装置の開発

開発したリニアモータは、棒状の永久磁石軸を囲んだコイルに電流を送って直線運動させる。この際、永久磁石の配置に独自技術を加えて位置決め精度を高め、コイルに水冷機構を取り入れ熱膨張による精度低下を防止した。

b) 新規磁気浮上型リニアモータの開発研究

従来の磁気浮上型リニアモータは、浮上部及び推進部ともコイルを用いているが、本研究では、永久磁石によるパッシブ型磁気浮上と開発済みのシャフトモータとを組み合わせた新製品を目指した。しかし、磁石の継ぎ目でコギングを起こしてスムーズな動きが得られず、量産性を含めて大きな課題が残っている。

c) 低膨張材料の採用、高精度キサゲ加工技術及びアクティブ除振台の導入

ナノレベルの精度を迫及するためには、部材の熱膨張変化を回避することが第1である。ここでは低膨張材料として、基盤にグラナイト(花崗岩)、リニアガイドにセラミックス、テーブルに低膨張鋳鉄を用い、空気浮上により摩擦抵抗を回避した。また、機械切削では出来ない平面性を出すために熟練職人によるキサゲ加工を施し、さらに、地盤の振動をキャンセルするためにアクティブ除振台を導入した。このようにして300mmウエハの端から端まで移動させる

ことができる XY テーブルを、高精度リニアモータを駆動源として、機械的には最高の精度を持たせて開発した。

平成 20 年度は、グラナイト製のブリッジを製作してナノ位置決めテーブルに取り付け、ここに顕微鏡カメラヘッドとパーティクル除去用マニピュレータを取り付けた。除振台をパッシブ状態で XY 動作性能を測定したところ、初期目標性能を達成していることが解った。その後、この組立製品を、安田工業株式会社からローツェ株式会社に移設した。

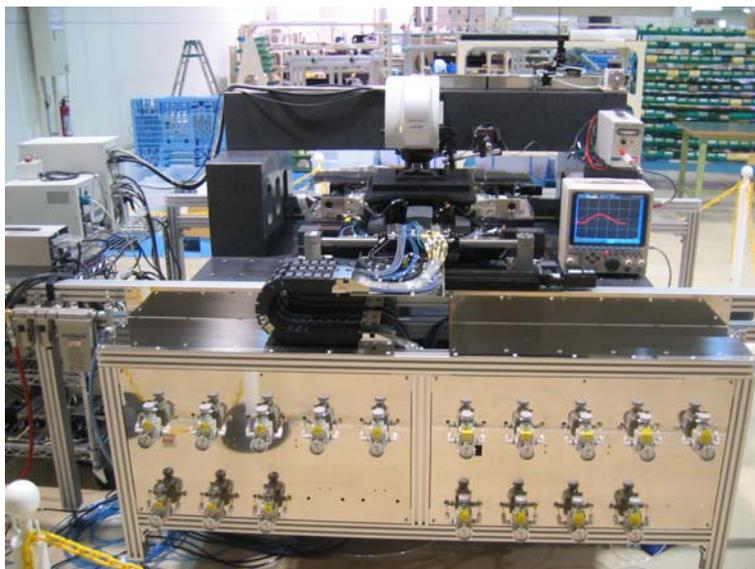


写真 1.2 ブリッジとレーザー顕微鏡組立後の製品（於、安田工業）

2. 自律分散型小型サーボモータコントローラ及びドライバ制御系の開発

2.1 市販サーボモータコントローラ・ドライバによる駆動実験とアルゴリズムの検討

上記のテーブルを作動するために、新規な技術思想によるリニアモータ駆動用のコントローラ・ドライバを含む電子制御システムを開発した。即ち、リニアモータへの配線・配管類に別途駆動用のモータを取付け、可動テーブルに負荷がかからない構造とし、0.13nm 精度のリニアスケールを使用して、高速フィードバック回路を開発して XY テーブルを制御した。

その結果、当初目標の 10nm を大幅に上回る位置決め分解能 0.78nm を達成し、加工寸法 45nm 半導体用ばかりでなく、将来の加工寸法 32nm、22nm の微細構造半導体にも対応できる「ナノ位置決めテーブル」を開発することができた。

表 2.1 に完成したナノ位置決めテーブルの最終性能を列挙する。各性能において、目標値を大幅に上回る測定値を得られる結果を得ている。

表 2.1 ナノ位置決めテーブルの最終性能

No.	検査項目	目標値	測定軸	測定値
1	最大速度	>300mm/sec	X軸、Y軸	400mm/sec
2	位置決め分解能	<10nm	X軸	0.57nm
			Y軸	0.78nm
3	スケール基準位置決め精度	<100nm	X軸	<1nm
			Y軸	<1nm
4	顕微鏡測定絶対位置決め精度	—	X軸、Y軸	測定限界(42nm)以下
5	速度むら	<0.1%	X軸	0.013%
			Y軸	0.006%
6	整定時間	<100msec	X軸	14msec
			Y軸	0msec

2.2 小型高速リニアサーボ用新回路とアルゴリズムの開発

平成20年度下半期に事業化の際必須のコストダウンに向けて、サーボモータ用一体型コントローラ・ドライバの新回路設計とアルゴリズムの開発、試作を行った。開発が少し遅れていたが、Y軸制御系のみコントローラ・ドライバの基礎開発を終了し、現状での結果は、位置決め誤差(3σ)=1.13nmで、前記の $3\sigma=0.78\text{nm}$ より多少大きかった。また、XY2軸制御システムの完成は、実用化に向けて次年度の補完研究に持ち越すこととした。

3. マスクパーティクル完全除去装置の開発

3.1 ナノピンセット法パーティクル完全除去機構の開発

3.1.1 モデルパーティクルの観察と測定

本プロジェクトにより購入したレーザ顕微鏡(オリンパス社製、OLS3100)により、各基板上の擬似パーティクルを観察し、そのサイズを測定した。

モデルパーティクル：日揮触媒化成(株) 真絲球、

材質：酸化シリコン、サイズ：1, 2, 5 μm

基板：ウエハ、LCD用ガラス、粘着シート、マスク

モデルパーティクルは、顕微鏡下で各サイズともきれいに観察することが出来た。

写真3.1.1にパーティクル除去装置の主要部写真を示す。

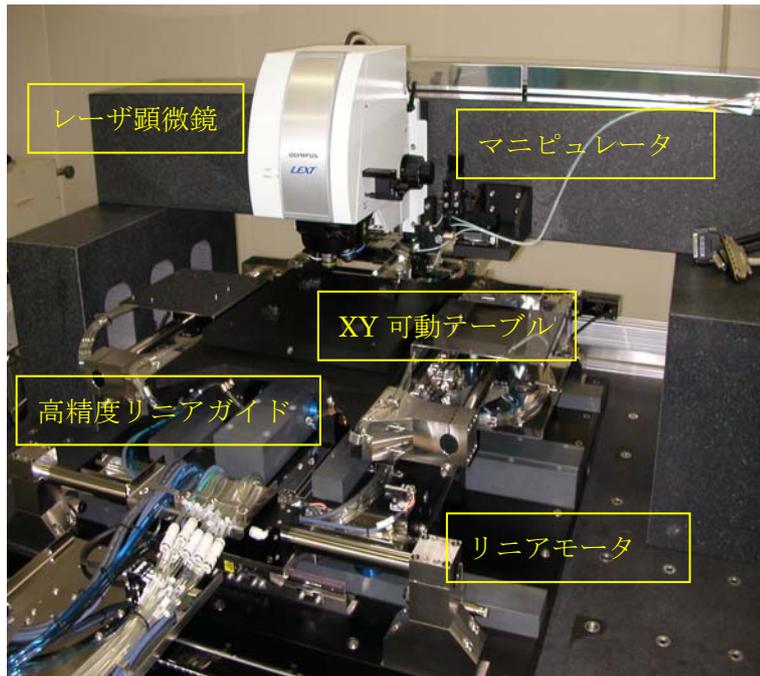


写真 3.1.1 レーザー顕微鏡、マニピュレータを搭載したパーティクル除去装置

3.1.2 ナノピンセット法パーティクル除去機構の開発

写真 3.1.2 のように、レーザー顕微鏡レンズ下に、マニピュレータに支持されたナノピンセット（アオイ電子製）を、顕微鏡でパーティクルを見ながら、手でマニピュレータを操作してパーティクルを掴み排除する。

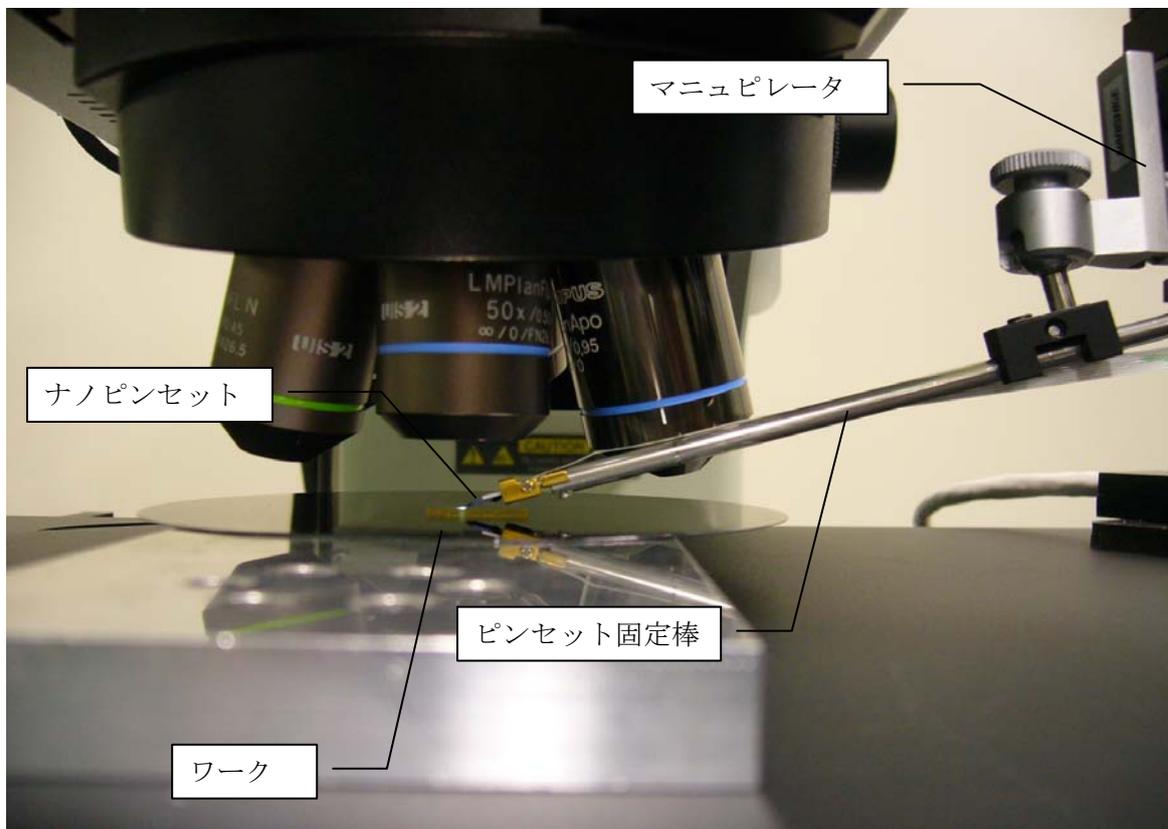


写真 3.1.2 テスト風景

写真 3.1.3 にマスク上のパーティクルを下記手順にて除去する様子を示す。顕微鏡にてパーティクル確認 → 3D 画像を取得し高さ情報を確認 → ピンセットをパーティクルの位置まで移動させパーティクル除去。

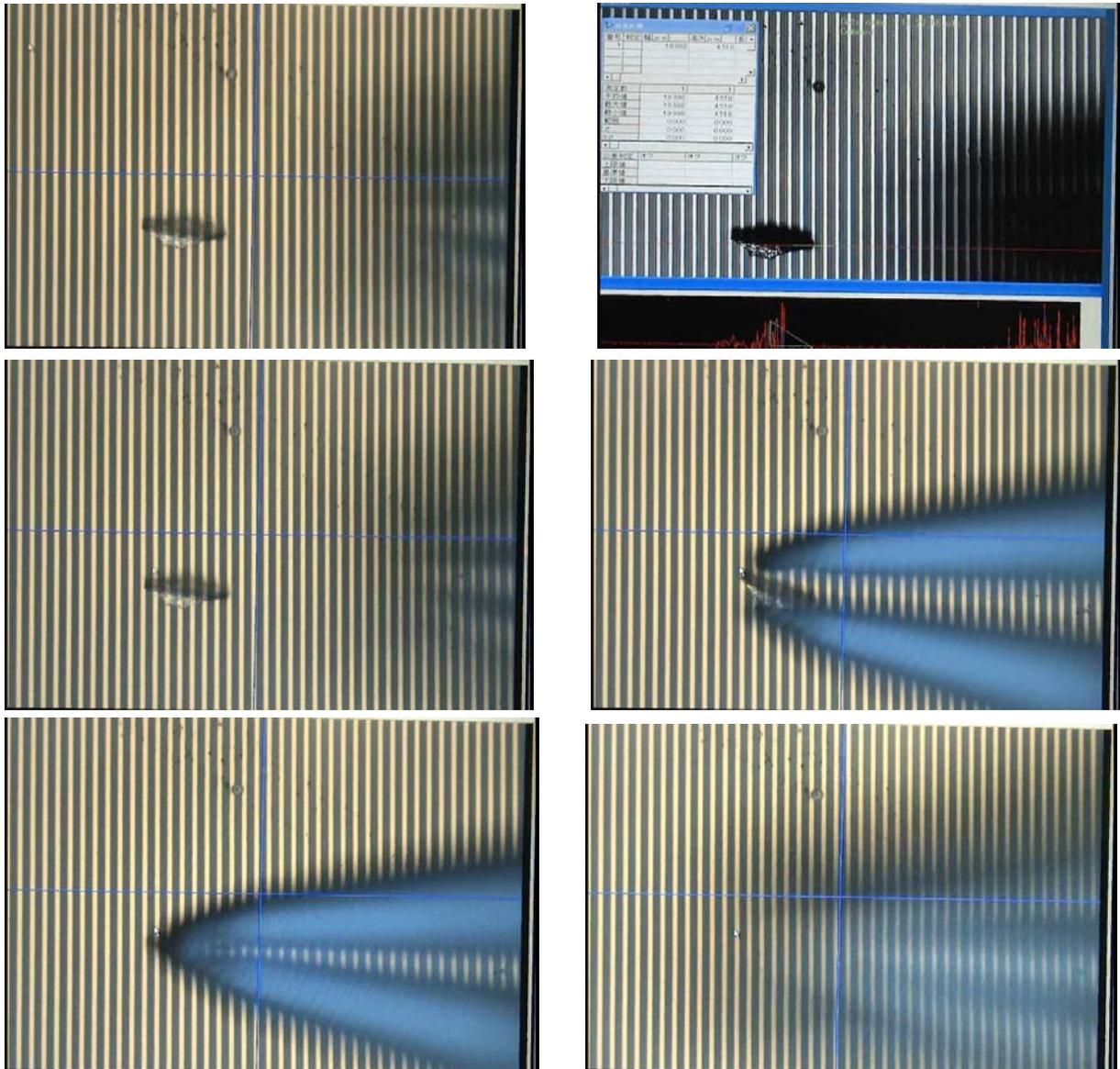


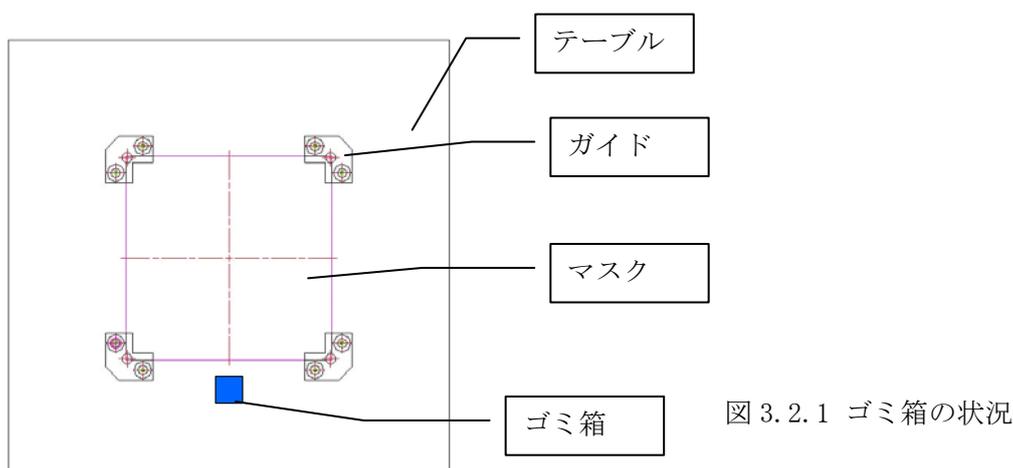
写真 3.1.3 パーティクル除去の状況

3.2 ナノ位置決めテーブル装置を用いたパーティクル除去

前項にてレーザー顕微鏡、マニピレータを使用しワーク上の擬似パーティクルを除去することが出来ることを示した。しかし実際の装置で考えると前項の手順では時間、手間がかかりすぎてしまう。よって本項では、(i)前項で行った手順でのパーティクル除去が出来るかどうか、(ii) ナノピンセットを動かすのではなく、テーブルを動かして位置決めを行う、(iii)除去したパーティクルの処理（ゴミ箱の設置）を検証した。

3.2.1 ゴミ箱の紹介

実際の装置では「パーティクルを基板上から除去し、基板外で捨てる」を繰り返す。本項ではゴミ箱を粘着シートで作成し、マスクと同じテーブル上に設置した。図 3.2.1 に「ゴミ箱」の位置を示す。ゴミ箱の条件として、「ピンセットに付いたごみがきれいに取れること」、「新たなごみを発生しない」、「基板高さとはほぼ同じ高さに設置可能」である。「粘着シートでピンセットのごみを取る」技術はアオイ電子が特許取得している。



3.2.2 テスト結果

- ・ マスク上に $2\mu\text{m}$ の擬似パーティクルを撒き、そのパーティクルをナノピンセットにより除去した。
- ・ テーブルのソフトを改造し、X, Y それぞれの移動量を直接入力できるようにし、テーブルを操作しやすくした。その機能を使いピンセットは Z 方向のみ動かすだけで X, Y 方向はテーブルを動かしてパーティクル除去が出来るようになった。
- ・ 粘着シートをつかいゴミ箱を作成し、テーブル上に設置しピンセットでつかんだパーティクルが除去できることを確認した。
- ・ ワークサイズは現状 6inch マスクであるが、ガイドを変えることにより 300mm ウエハも可能である。

3.2.3 今後の課題

実装置として考えると安全機能、ワーク保護機能、自動化など課題が多く残る。手動によるパーティクル技術に頼ることなく、自動化し誰が操作しても簡単で安全にパーティクル除去が出来る装置を開発する。

- ・ ワーク保護機能の追加・・・接触防止機能（観察機能）追加、ピンセットの材質変更
- ・ パーティクル除去の自動化・・・画像処理機能、ピンセットの自動調整機能追加
顕微鏡ソフトとテーブルソフトの融合
- ・ ミニエンの確立・・・クリーンブース追加、部品、構造の見直しによるクリーン化

3.3 レーザー光によるパーティクル除去方法の研究

本研究は福山大学工学部香川研究室との共同研究として行った。ファイバ赤外レーザー（波長1480nm、出力14.26mW）、紫色レーザー（波長405nm、出力17.4mW）を、400倍可視光顕微鏡下で、モデル微粒子（ $0.07\mu\text{m}$ 酸化ケイ素 SiO_2 、 $0.27\mu\text{m}$ 炭化ケイ素 SiC ）に当てながら観察し、静電気除去目的でイオナイザーを用いた。しかし、すべてのモデル微粒子を飛散させることはできなかった。

3.4 大気圧プラズマによるパーティクル除去方法の研究

大気圧プラズマ（5～10W、Ar:0.5～1ℓ/分、㈱アドテックプラズマテクノロジー製）を400倍可視光顕微鏡下で、モデル微粒子（炭化ケイ素； $0.27\mu\text{m}$ ）を当てながら観察した。しかしながら、1～数百粒子の塊を除去することはできなかった。（福山大学工学部香川研究室と共同研究）

3.5 ナノ位置決めテーブルとマスクパーティクル完全除去装置のユーザー評価

川下ユーザー2社を訪問し、成果を説明し評価を聴取した。ナノ位置決めテーブルは、非常によくできている。マスクパーティクル完全除去装置は、マスク製造の最終工程でニーズがある、ここでは数十ミクロンのパーティクルもあり、大きいものも除去できるピンセットが必要である、また、その他分析用などにも利用できよう。小型リニアモーターができれば、用途が広がる、などのコメントを得た。

3.6 今後の課題

前項のパーティクル除去装置の市場情報から、ナノ位置決めテーブルは、精度を多少落としてもコストダウンして市場要求に応える開発が必要である。ナノピンセットも、数十ミクロンの大きいものから小さいものまで除去できるものが必要となった。

一体型サーボモーターコントローラ・ドライバーは、早急に改善し完成させる予定である。

また、位置決め分解性能も1nm以下となるようさらに開発を進めたい。

4. プロジェクトの運営管理

4.1 研究開発進捗管理

共同研究体構成員との連携・調整及び研究開発等に係る打合せを適宜実施して、本事業の進捗状況の把握を行うとともに、研究開発課題への迅速対応等によりプロジェクトの進捗管理を行った。

また、研究開発で取得する機械装置等については、適正な経理処理に努めるとともに、取得後においては、管理台帳等により適正な管理を行った。

4.2 研究開発推進会議及び事業化検討会の開催

研究開発における進捗状況の把握、課題の抽出・検討、研究成果の評価及び事業化計画の策定・

検討を行うことにより、本プロジェクトの円滑な推進を図るため、「研究開発推進会議及び事業化検討会」を次のとおり開催した。

(1)平成18年度

回	開催日時	開催場所	議 題
1	平成19年2月8日 14:00～17:00	福山ニューキャ ッスルホテル	<ul style="list-style-type: none"> ・平成18年度事業全体計画審議 ・平成18年度事業個別計画審議 ・事業化計画説明

(2)平成19年度

回	開催日時	開催場所	議 題
1	平成19年6月25日 14:00～17:00	ローツェ(株)	<ul style="list-style-type: none"> ・事業計画全体概要説明 ・平成18年度事業実施結果報告 ・平成19年度事業実施計画説明
2	平成19年11月9日 14:00～17:00	ローツェ(株)	<ul style="list-style-type: none"> ・平成19年度事業実施状況中間報告 ・研究開発課題及び対応審議 ・最新の技術動向紹介
3	平成20年3月11日 14:00～17:00	(社)福山労働 会館みやび	<ul style="list-style-type: none"> ・平成19年度事業実施状況報告 ・平成20年度実施計画案審議 ・最新の技術動向紹介

(3)平成20年度

回	開催日時	開催場所	議 題
1	平成20年7月28日 14:00～17:40	ローツェ(株)	<ul style="list-style-type: none"> ・平成19年度事業実施結果報告 ・平成20年度事業実施計画説明 ・最新の技術動向紹介
2	平成20年12月10日 14:00～16:40	ローツェ(株)	<ul style="list-style-type: none"> ・平成20年度事業実施状況中間報告 ・プロジェクト終了後の研究開発 ・最新の技術動向紹介
3	平成21年3月9日 14:00～17:20	ウェルサンピ ア福山	<ul style="list-style-type: none"> ・平成20年度事業実施状況報告 ・今後の事業化計画審議 ・補完研究実施内容審議 ・最新の技術動向紹介

第3章 その他

1. 研究発表・論文投稿

特になし。

2. 特許の状況

非常に進歩性に優れたナノ位置決めテーブルが開発されたが、新規性に疑問があるため、特許出願については検討中である。

3. プレス発表

補完研究とさらなるニーズ調査を実施した後、プレス発表する予定である。

4. 参考文献

特になし。

第4章 全体総括

1. 研究背景

半導体デバイスは、微細化することにより、高性能化、量産性向上、コストダウン、市場拡大を実現し「産業のコメ」と言われるまで発展をしてきた。その微細化は2010年に、線幅45nmになると言われて来た。

2. 研究目的及び目標

線幅45nm半導体デバイス生産用のマスクは、4倍縮小投影のフォトリソグラフィー法が用いられるため、マスク上では線幅180nmとなる。マスクは電子回路パターンに応じて複数枚使用されるため、それらの位置合わせ誤差が10nm以下でなければならない。したがって、ナノ位置決めテーブルの位置決め分解能は10nm以下、整定時間0.1秒以下を目標とした。

また、マスクで許容されるパーティクル（異物）サイズは、線幅の約4分の1の50nm以下の大きさである。したがって、除去するパーティクルの目標サイズは50nm以上とし、安価な方法で検出し除去するために、大気中でのパーティクル除去法を探索した。

3. 研究成果

本研究開発により、次のような成果を得ることができた。

(1) 二次元ナノ位置決めテーブルの開発

ナノ位置決めテーブルは、機械的目標の位置決め分解能10nmを達成した。制御系として市販のコントローラ及びドライバを使用して新規アルゴリズムを開発し、アクティブ除振台を導入して低周波振動を除去したところ、目標を大きく上回る位置決め分解能0.78nm、整定時間0.015秒を達成した。

(2) 自律分散型小型サーボモータコントローラ及びドライバ制御系の試作開発

小型化とコストダウンを目指し、新規回路を開発して小型一体型サーボモータコントローラ及びドライバを開発してきた。まだY軸しか出来ていないが、位置決め分解能1.13nmの性能を引き出すことができ、1nm以下の実現可能性の見通しを得た。今後、完成を目指す。

(3) マスクパーティクル完全除去装置の開発

パーティクル完全除去装置は、目標の50nmを除去する手法は見出されなかったが、1～20 μ mのパーティクル除去が可能となった。川下業者のニーズを調査したところ、要求はむしろ10 μ m～数10 μ mの要求が多く、現在の成果による実用化が可能である製品であることが分かった。

4. 今後の課題

実用化に向けて、ナノ位置決めテーブルのコストダウン、一体型コントローラ・ドライバの完

成によるコストダウン、パーティクル位置へのテーブル駆動ソフトウェアの開発、恒温クリーンブースの開発、1 μm 以下のパーティクル除去方法の検討などの課題が残ったため、今後、補完研究を続けて完成して行く予定である。

5. 事業化に向けての取り組み

前述のコストダウン型ナノ位置決めテーブルと一体型コントローラ・ドライバが完成した時点で、早急に川下企業等の市場調査及び市場開拓に取り掛かり、事業化検討を行う予定である。