

平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「3次元LSI積層実装技術に対応した微細先鋭 bumps 検査装置の開発」

研究開発成果等報告書

平成27年 3月

委託者 関東経済産業局

委託先 株式会社浜名湖国際頭脳センター

目 次

第 1 章 研究開発の概要	- 1 -
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	- 1 -
1-1-1 研究開発の背景	- 1 -
1-1-2 研究目的及び目標	- 2 -
1-2 研究体制	- 3 -
1-2-1 研究組織（全体）	- 3 -
1-2-2 管理体制	- 3 -
1-2-3 管理員及び研究員	- 4 -
1-2-4 他からの指導・協力者	- 4 -
1-3 成果概要	- 5 -
1-3-1 レビュー用簡易検査装置の開発	- 5 -
1-3-2 高速検査装置の開発	- 5 -
1-4 研究開発の連絡窓口	- 5 -
第 2 章 本論	- 6 -
2-1 レビュー用簡易検査装置の開発	- 6 -
2-1-1 レビュー用簡易検査装置の機構設計	- 6 -
2-1-2 ソフトウェア作成	- 7 -
2-1-3 レビュー用簡易検査装置の評価	- 8 -
2-2 高速検査装置の開発	- 9 -
2-2-1 高速検査装置搬送部の開発	- 9 -
2-2-2 青色レーザー照明の開発	- 11 -
2-2-3 深被写界深度顕微鏡の開発	- 13 -
2-2-4 高速画像処理アルゴリズムの開発	- 15 -
2-2-5 まとめと今後の課題	- 15 -
2-2-6 高速画像処理アルゴリズムのソフトウェア作成及び精度検証	- 16 -
2-2-7 高速画像処理装置画像処理部の開発	- 18 -
2-2-8 高速画像処理装置の能力確認	- 18 -
第 3 章 全体総括	- 20 -

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

1-1-1 研究開発の背景

(1) 3次元LSIデバイス積層実装技術

3次元LSIデバイス積層実装技術は、シリコンLSIデバイスの微細化技術限界を超えて集積度を向上させるための新しい技術として近年着目されている。

これは、LSIデバイスのシリコン基板内表面から裏面に貫通する電極(シリコン貫通電極(TSV))を形成したものを複数用意して、それらを微細金属バンプ接続により縦方向に積層して高度な電子システムを実現する技術である。

産業技術総合研究所のナノエレクトロニクス研究部門では、金、ニッケル、銅、銀などの金属ナノ粒子を含むHeガスのジェット流を試料に吹き付けて、ナノ粒子膜を形成するナノパーティクル推積技術の開発を進めてきている。フォトリソグラフィ技術によりパターン形成されたレジスト膜をマスクとして用いることにより所望の場所にナノ粒子膜を堆積させ、レジストパターンの縁で成長する、ひさし構造によりパターン開口部の面積が徐々に狭まり、円錐あるいは角錐形状の金属突起構造が形成される。

この金属突起構造を半導体デバイスと半導体パッケージの電極間接合形成に用いると、半導体デバイスと半導体パッケージのフリップチップ接続が低温、低加重プロセスで実現できる。

(2) ソフトワークス社での検査評価装置への取り組み

ソフトワークス株式会社では、他社より優れた光学センシング技術を生かして、電子デバイス、電子部品などの検査評価装置を開発し、製品化してきている。

最近の開発例として、従来のワイヤーボンディング法より短い配線で電気接続が可能なフリップチップ法による電子デバイスの実装に用いられるバンプ構造について、一般的なはんだ合金によるバンプボールではなく、金ワイヤーのボンディング装置で形成できるスタッドバンプ(円錐台形状の台座に円錐形状の突起が乗った構造)について、その量産向け検査装置がある。

本装置では、大きさ・高さが70ミクロン程度のスタッドバンプ配列に対して、無影平面照明された光学ラインセンサによる高速高精細画像取り込み技術と高速画像処理技術の組み合わせにより、各バンプの形状を同時に計測評価し、不良判定処理を施すことが可能となり、4インチ基板上のスタッドバンプ10万個を3分程度で不良検査できる能力を実現させている。

1-1-2 研究目的及び目標

電子部品・デバイスの実装に係る技術において達成すべき高度化目標は以下のとおりである。

(四) 電子部品・デバイスの実装に係る事項

1 電子部品・デバイスの実装に係る技術において達成すべき高度化目標

(3) 川下分野横断的な共通の事項

①川下製造業者等の共通の課題及びニーズ

- ア. 高効率化
- イ. 安全性・信頼性
- エ. 低コスト化

上記の課題及びニーズに対応した高度化目標は、以下のとおりである。

ア. 小型化・高密度集積化

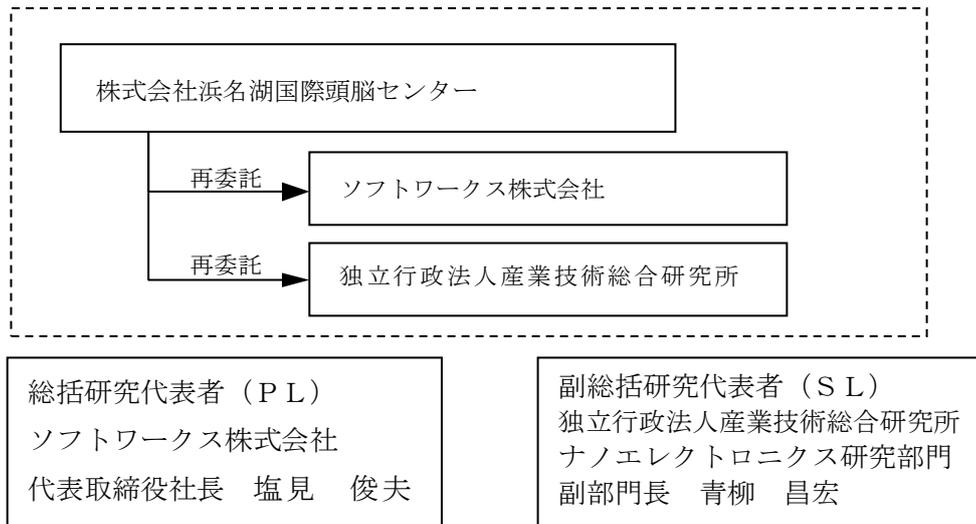
複数の LSI デバイスを高密度に集積して、電子機器の高性能化、高機能化、小型化、低消費電力化などを実現するため、システムインパッケージ技術、3次元 LSI 積層実装技術、部品内蔵基板技術などで従来の半田バンプに比べて大幅な小型化を実現する、新しい小型・高密度集積化技術として既にサポイン事業で開発中の微細先端バンプ形成技術があるが、形状検査装置が市販されていない為に形成装置の市場への普及の障害になっている。従来の半田バンプ検査技術では先端バンプの形状を正確に捉える事が出来ないうがソフトウェア株式会社が開発したスタッドバンプ形状検査装置をさらに改良して正確で高速な検査を実現する。

本研究開発は、次世代高密度実装に用いられる円錐・角錐等の微細先端バンプの形状検査技術の確立を目的とする。微細先端バンプの形状検査技術を用いる新たな検査装置を開発することにより、従来不可能であった高速検査を可能とする。

研究開発の目標として、バンプ高さ測定再現精度を $\pm 0.3 \mu\text{m}$ (標準偏差) 以内とし、XY ステージの速度安定性は $\pm 1\%$ 以内、上下左右ガタ $\pm 0.1 \mu\text{m}$ 以内とする。新規開発する青色レーザー照明は、青色 LED に比べて 50 倍以上の明るさとする。新規開発する深被写界深度レンズの倍率は、15 倍から 20 倍とし、光学分解能 $1 \mu\text{m}$ 以内、被写界深度 $30 \mu\text{m}$ 以上とする。また、検査時間は 6 インチウェハで 20 分以内とする。

1-2 研究体制

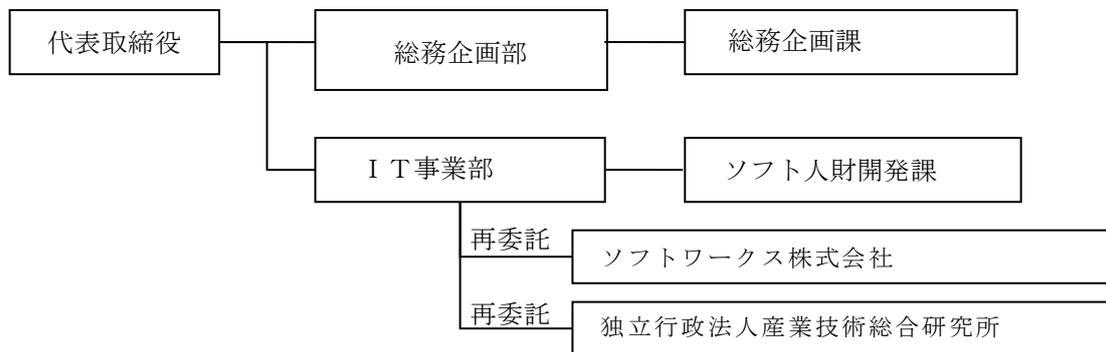
1-2-1 研究組織（全体）



1-2-2 管理体制

(1) 事業管理機関

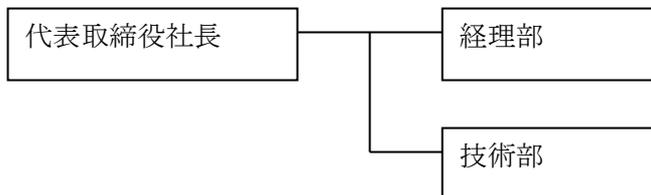
[株式会社浜名湖国際頭脳センター]



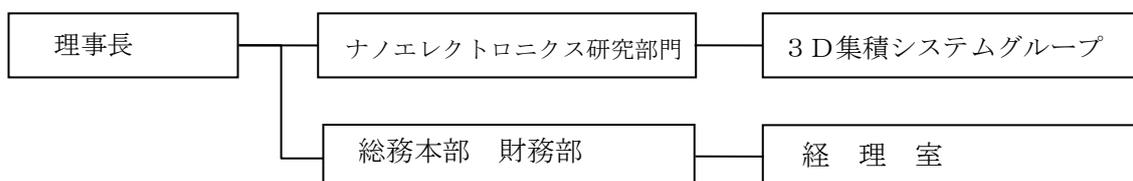
(2) 再委託先

[ソフトワークス株式会社]

(業務管理者)



[独立行政法人産業技術総合研究所]



1-2-3 管理員及び研究員

(1) 事業管理機関

[株式会社浜名湖国際頭脳センター]

(管理員)

氏名	所属・役職
森田 智久	総務企画部長
鈴木 温子	I T事業部 ソフト人財開発課長
細川 佳伸	I T事業部 ソフト人財開発課 主任
夏目 和久	事業企画室長

(2) 再委託先（研究員）

[ソフトウェア株式会社]

氏名	所属・役職
塩見 俊夫	代表取締役社長
鈴木 康司	技術部長
有馬 典明	技術部
石塚 岬	技術部

[独立行政法人産業技術総合研究所]

氏名	所属・役職
青柳 昌宏	ナノエレクトロニクス研究部門 副部門長（3D集積システムグループ長）
渡辺 直也	ナノエレクトロニクス研究部門 主任研究員
菊地 克弥	ナノエレクトロニクス研究部門 主任研究員

1-2-4 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
山中 忠衛	独立行政法人産業技術総合研究所 イノベーション推進本部 イノベーションコーディネーター	アドバイザー
五味 善宏	ミクナス ファイン エンジニアリング株式会社 技術部 設計技術開発G 係長	アドバイザー
元吉 真	東北マイクロテック株式会社 代表取締役社長	アドバイザー
水谷 忠伸	丸文株式会社 システム営業本部 営業第2部 産業機器第1課	アドバイザー
立石 哲康	浜松商工会議所 産業振興部 工業振興課 課長	アドバイザー
山田 穎二	学校法人常葉学園常葉大学 経営学部 非常勤講師	アドバイザー

1-3 成果概要

1-3-1 レビュー用簡易検査装置の開発

下記のとおりレビュー用簡易検査装置の開発を行った。既存の光学系を使用し、ソフトウェアと搬送装置の製作を行った。目的は、高速検査装置に先立つ検証と研究開発用の装置として使うことができるものとした。

- ・ 真上及び斜め 45 度から $5\mu\text{m}\phi$ バンプ形状を明瞭に観察可能な機構
- ・ バンプ高さ及び形状異常を数値で出力可能なソフトウェアを作成
- ・ バンプ高さ測定再現精度については、目標とした σ (標準偏差: $\pm 0.3\mu\text{m} = 0.6\mu\text{m}$) に対して、輪郭高さで最大 $0.27\mu\text{m}$ 、斜辺高さで $0.21\mu\text{m}$ と目標を達成した

1-3-2 高速検査装置の開発

下記のとおり高速検査装置の開発を行った。実際の製造現場でバンプを高速に検査することができる装置を開発した。

- ・ バンプ高さ測定再現精度は目標値 ($\pm 0.3\mu\text{m} = 0.6\mu\text{m}$ 以内) に対して $0.4\mu\text{m}$ 以内
- ・ XY ステージの速度安定性は目標の $\pm 1\%$ に対して $\pm 0.01\%$ となり、上下左右ガタは目標 $\pm 0.1\mu\text{m}$ ($0.2\mu\text{m}$) 以内に対して水平方向では $0.004\mu\text{m}$ 垂直方向で約 $0.1\mu\text{m}$
- ・ 青色レーザー照明は、青色 LED に比べて約 30 倍の明るさ
- ・ 深被写界深度レンズの倍率は、20 倍とし、光学分解能 $1\mu\text{m}$ 以内、被写界深度 $10\mu\text{m}$ ($\pm 5\mu\text{m}$)
- ・ 検査時間は 6 インチウェハで 13 分

1-4 研究開発の連絡窓口

(1) プロジェクト全体に関すること (事業管理機関)

[株式会社浜名湖国際頭脳センター]
住所：静岡県浜松市西区村楯町 4598 番地の 9
電話：053-484-4002 / FAX：053-484-4001
e-mail：sapoin-hic@hamanako.co.jp
担当：IT 事業部ソフト人財開発課 鈴木温子

(2) プロジェクトの技術内容に関すること (研究実施機関)

[ソフトウェア株式会社]
住所：静岡県浜松市中区高丘北一丁目 40-15
電話：053-439-8960 / FAX：053-439-5561
e-mail：info@softworks.co.jp
担当：塩見 俊夫

[独立行政法人産業技術総合研究所]
住所：茨城県つくば市梅園 1-1-1
電話：029-861-5529 / FAX：029-862-6511
e-mail：m-aoyagi@aist.go.jp
担当：ナノエレクトロニクス研究部門 副部門長
青柳 昌宏

第2章 本論

2-1 レビュー用簡易検査装置の開発

開発の第一段階として、倍率可変機能を有する Z16A00 を用いて、レビュー用簡易検査装置を開発して、最適な倍率を明確化することを目指した。

2-1-1 レビュー用簡易検査装置の機構設計 (実施：ソフトウェア株式会社)

レビュー用簡易検査装置の機構設計を行い、真上及び斜め 45 度から $5\mu\text{m}\phi$ バンプ形状を明瞭に観察可能な機構を作成できた。また、XYZ ステージを制御して任意のバンプを選択し、2D 及び 3D 撮像をする事が出来るようになった。

機構部の概要設計及び機材配置と結線の関係を図 2-1-1 ブロック図に示す。

図 2-1-1 ブロック図より図 2-1-2 機構設計図を作成した。

開発したレビュー用簡易検査装置の外観は、図 2-1-3 のとおりである。

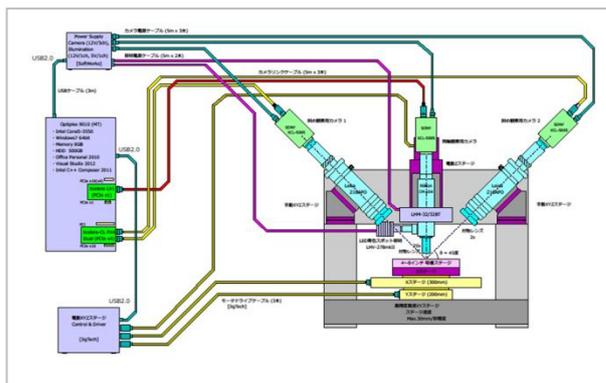


図 2-1-1 ブロック図

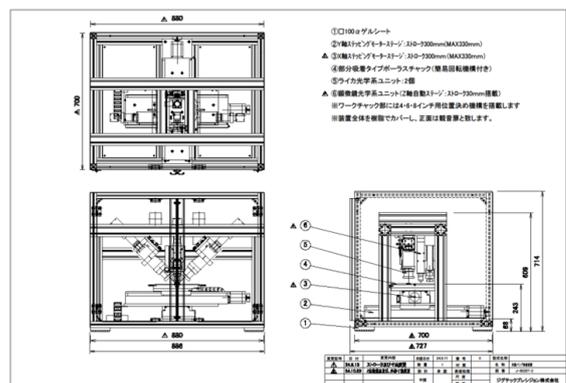


図 2-1-2 機構設計図

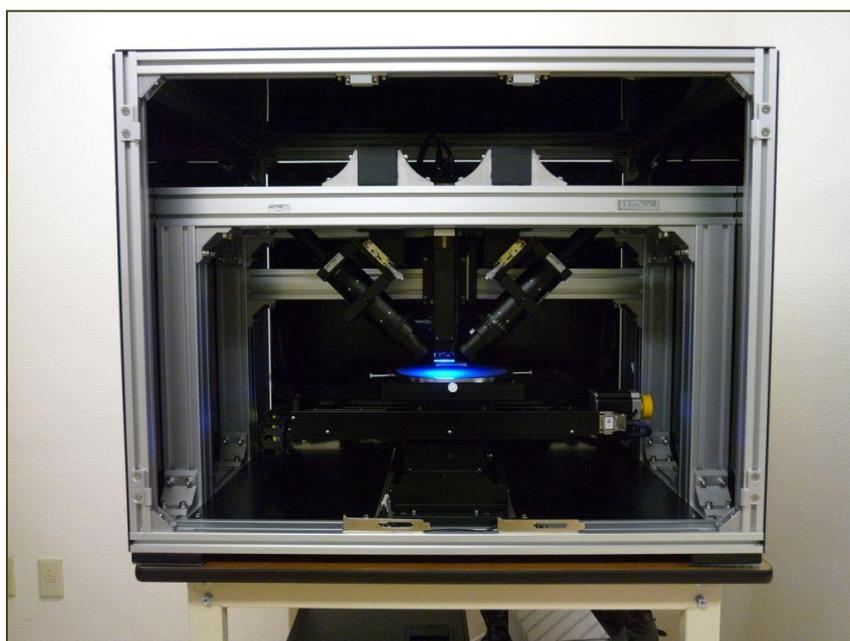


図 2-1-3 機構部外観

2-1-2 ソフトウェア作成 (実施：ソフトワークス株式会社)

レビュー用簡易検査装置のソフトウェアを開発した。

画像処理部とカメラ制御部のソフトウェア構成は以下の通りである。

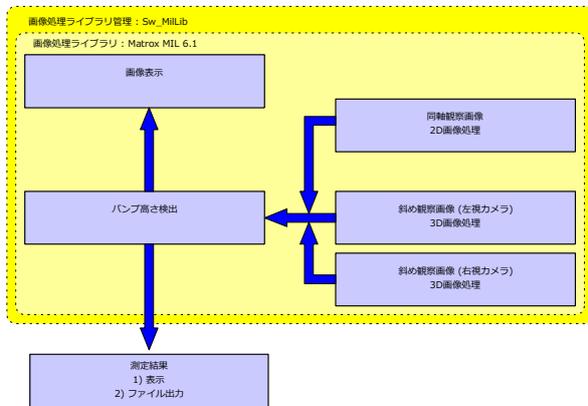


図 2-1-4 ソフトウェア構成 画像処理部

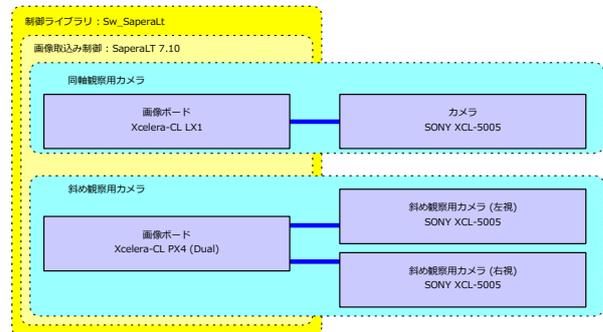


図 2-1-5 ソフトウェア構成 カメラ制御部

開発したソフトウェアの2D及び3D計測結果の画面例を図2-1-6に示す。

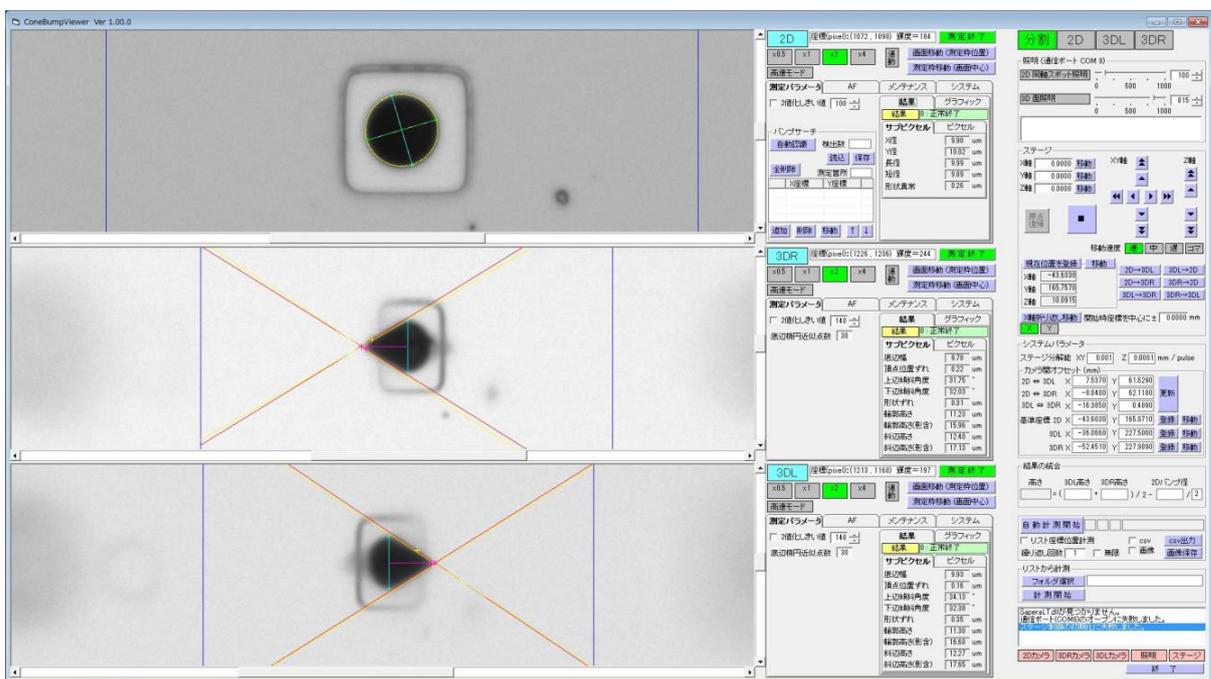


図 2-1-6 2D・3D計測画面

2-1-3 レビュー用簡易検査装置の評価 (実施：ソフトウェア株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所)

レビュー用簡易検査装置で輪郭高さの10回繰り返し測定を行った。結果を表2-1-1に示す。

表 2-1-1 レビュー用簡易検査装置の10回繰り返し測定データ 輪郭高さ (単位[μm])

輪郭高さデータ										
↓ N	X01	X02	X03	X04	X05	X06	X07	X08	X09	X10
1	11.18	11.36	11.57	11.40	12.02	12.67	11.17	11.89	11.59	11.43
2	11.28	11.98	11.76	11.60	11.78	12.57	11.44	12.13	11.24	11.53
3	11.58	11.61	11.77	11.69	11.74	12.01	11.39	11.72	11.19	11.57
4	11.45	11.73	11.69	11.51	12.28	12.17	11.09	11.96	11.33	11.62
5	11.46	11.20	11.83	11.65	11.90	12.08	11.19	11.83	11.31	11.71
6	11.54	11.57	11.75	11.67	11.59	12.29	11.24	11.58	11.26	11.37
7	11.36	11.29	11.54	11.71	11.86	11.90	11.36	11.59	11.36	11.27
8	11.42	11.40	11.70	11.50	11.78	12.04	11.08	12.13	11.09	11.13
9	11.58	11.49	11.39	11.33	11.80	12.04	11.54	11.84	11.15	11.23
10	11.33	11.38	11.72	11.63	11.99	12.26	11.38	12.25	11.35	11.53
↓ N	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20
1	11.32	11.51	11.37	11.43	11.64	11.20	11.77	11.34	11.26	12.48
2	11.60	11.61	11.43	11.31	11.83	11.57	11.81	11.41	11.60	12.54
3	11.23	11.21	11.54	11.48	11.75	10.77	11.59	11.21	11.57	12.24
4	11.03	11.25	11.39	11.21	11.04	10.91	11.65	11.43	11.49	12.39
5	11.51	11.17	11.50	11.53	11.65	11.01	11.86	11.54	11.84	12.40
6	11.19	11.07	11.14	11.31	11.74	11.15	11.74	11.23	11.28	12.38
7	11.04	11.13	11.42	11.41	11.65	11.27	11.61	11.40	11.87	12.37
8	11.04	11.37	11.44	11.48	11.74	10.67	11.62	11.44	11.65	12.35
9	11.34	10.99	11.72	11.54	11.72	11.35	11.93	11.21	11.81	12.48
10	11.21	11.19	11.46	11.44	11.73	10.99	11.88	11.09	11.54	12.26

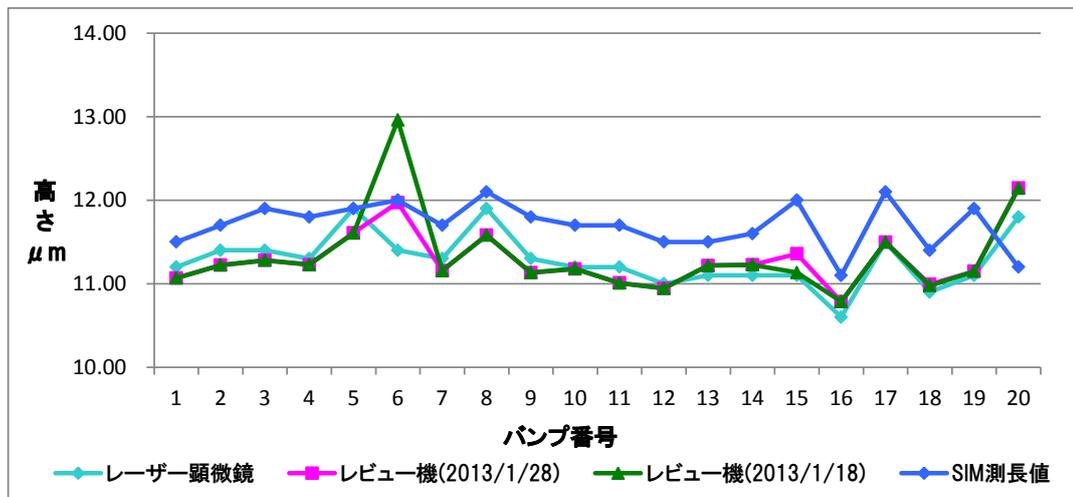


図 2-1-7 SIM 測定とレーザー顕微鏡及びレビュー用簡易検査装置出力値 (輪郭高さ)

レビュー用簡易検査装置の輪郭高さ測定値とレーザー顕微鏡の測定値及び走査イオン顕微鏡 (SIM) の測定値の比較を行った。図 2-1-7 に示す。

目標とした σ (標準偏差) は、輪郭高さで最大 $0.27 \mu\text{m}$ 、斜辺高さで $0.21 \mu\text{m}$ と目標 ($\pm 0.3 \mu\text{m} = 0.6 \mu\text{m}$) の半分以内に収まった。

2-2 高速検査装置の開発

開発の最終目標である高速にバンプ検査を行う装置の開発のため、高精度高速な XYθ ステージ、青色レーザー照明、深被写界深度顕微鏡、高速画像処理の開発を行った。

2-2-1 高速検査装置搬送部の開発（実施：ソフトウェア株式会社）

ウェハ全面を高精度高速で撮像できる搬送部の開発を行った。リニアガイドサーボモーターの XY ステージ、および、ウェハ回転方向のアライメントの為の θ ステージを組み合わせた構成とした。特に、カメラ架台は十分な強度を持たせて、XY 搬送部とカメラ間を一体化する事で高速 XY 走査時の振動によるカメラのブレの無い構造とする。XY および θ のステージ移動を制御するための搬送部制御ソフトウェアを開発した。

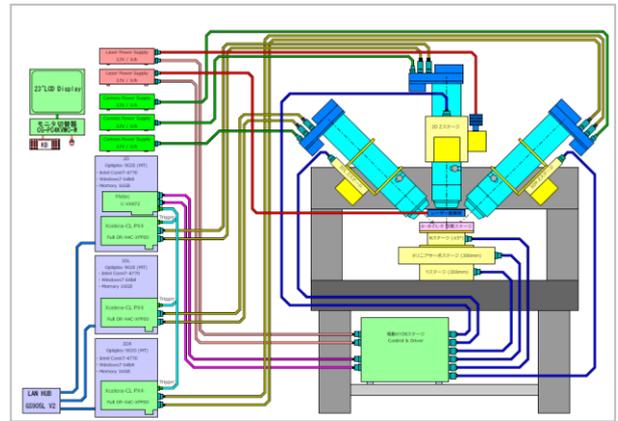


図 2-2-1 システム構成図

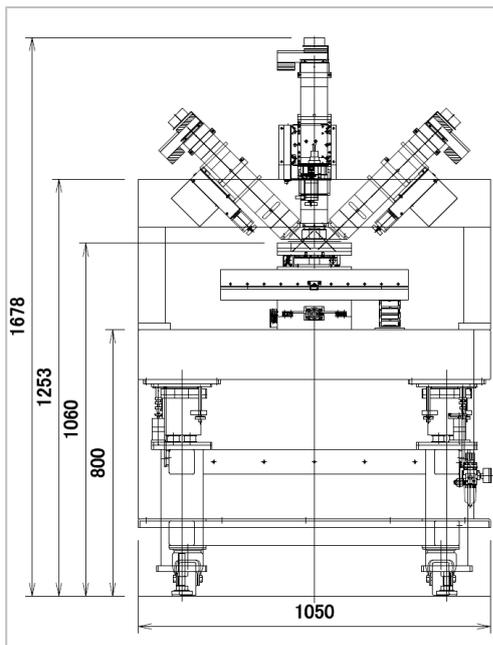


図 2-2-2 機構設計図

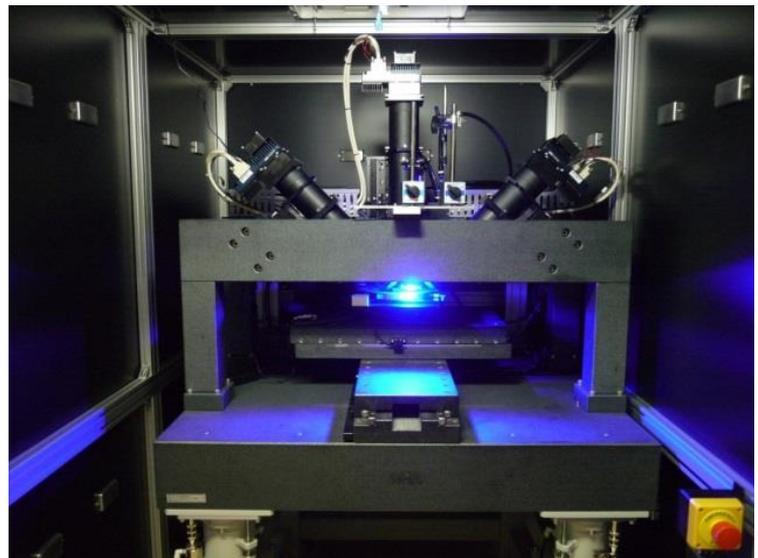


図 2-2-3 装置外観（照明点灯時）

(1) 速度安定性について

安定性は目標の±1%に対して±0.01%と目標を上回っており、良好な安定性となっている。

(2) 上下左右ガタについて

10mm 駆動におけるデータを読み取ると、水平方向では $0.004\mu\text{m}$ 垂直方向で約 $0.1\mu\text{m}$ である。目標値は $\pm 0.1\mu\text{m}$ ($0.2\mu\text{m}$) であり、駆動範囲を実用上の200倍に設定しても目標を達成している。

(3) 狭ピッチバンプに対応した 60 度での撮像確認

図 2-2-4 のとおりカメラ角度変更の治具を作成し、カメラ角度 45 度と 60 度の比較検証を行った。図 2-2-5 の通り、60 度で撮像することでバンプピッチがバンプ径の 2 倍程度又は多少狭くともバンプの斜め形状が把握出来ることを確認した。円錐形の特徴がよく分かり計測そのものは可能と判断した。

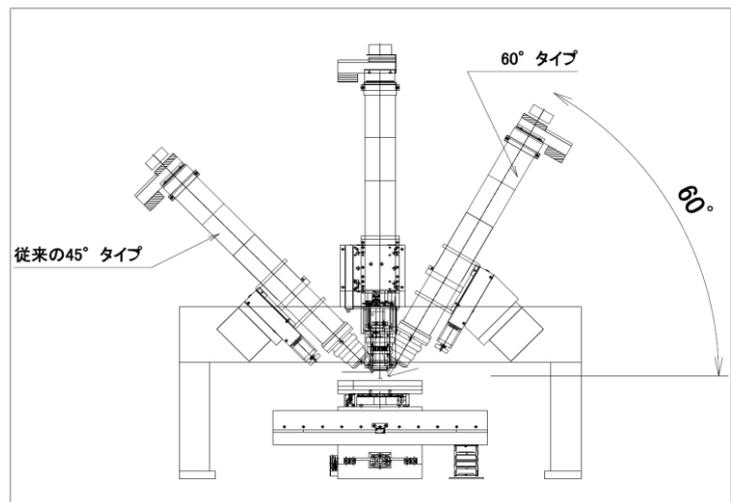


図 2-2-4 斜めカメラの傾斜角 60 度の機構図

	ピッチ 15 μm バンプ径 10 μm	ピッチ 20 μm バンプ径 10 μm
45 度で撮像	<p>45 度で撮像したピッチ 15 μm バンプ径 10 μm の画像バンプが重なって見えて計測不能。</p>	<p>45 度で撮像したピッチ 20 μm バンプ径 10 μm の画像バンプが接続し計測困難。</p>
60 度で撮像	<p>45 度で撮像したピッチ 15 μm バンプ径 10 μm の画像バンプが近接しているが、一応分離しており計測可能。</p>	<p>45 度で撮像したピッチ 20 μm バンプ径 10 μm の画像バンプが十分に離れていて計測可能。</p>

図 2-2-5 カメラ角度の違いによる撮像の比較

2-2-2 青色レーザー照明の開発 (実施：ソフトワークス株式会社)

(1) 青色レーザー照明の開発

青色レーザー照明については、2年目に下記の開発を行った。

青色レーザー スポット照明	同軸照明に用いる青色レーザー素子によるスポット光源を開発する。スペックル除去のためのコヒーレンシー低下用光ファイバーのバンドルに光源を接合する。
青色レーザー 拡散面照明	斜め観察に用いる青色レーザー素子による拡散面照明を開発する。コヒーレンシー低下用光ファイバーの出射端を拡散板に接続するか、拡散板自体の効果によりスペックルを除去する。

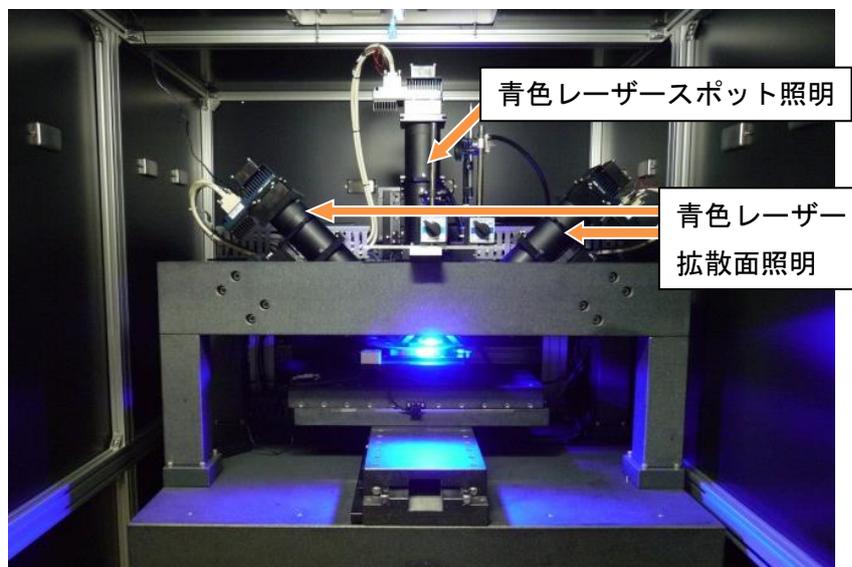


図 2-2-6 高速検査装置 外観

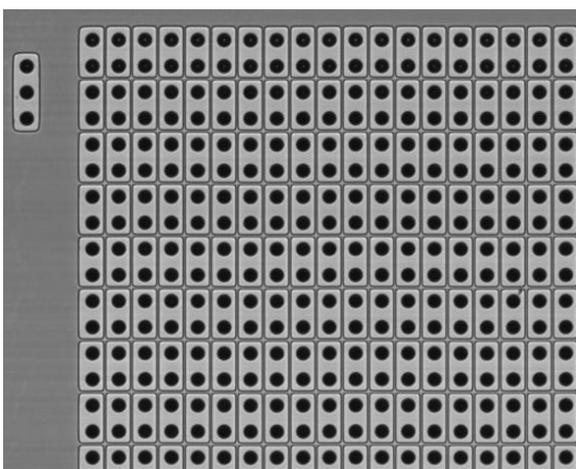


図 2-2-7 青色レーザースポット照明
による 2D 画像 (部分拡大像)

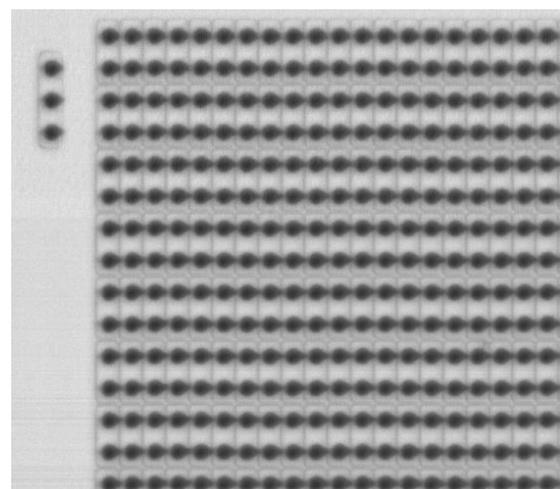


図 2-2-8 青色レーザー拡散面照明
による 3DL 画像 (部分拡大像)

図 2-2-8 のとおり、3D 画像は 2D (図 2-2-7) に比べて輪郭がボケており、この原因は照明の輝度ムラと判断した。

(2) 輝度ムラの改善

青色レーザー照明の開発については、3年目に輝度ムラ改善のため、拡散面照明を改良した。

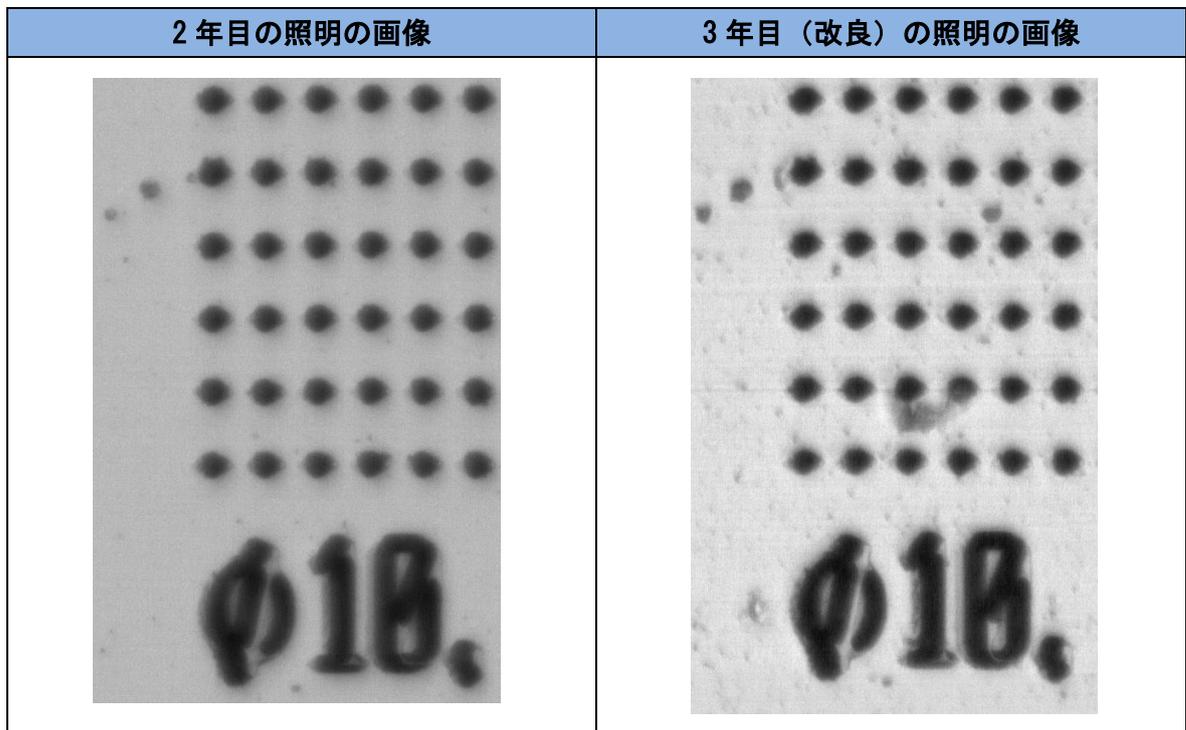


図 2-2-9 従来照明と今回改良した照明の画像比較

図 2-2-9 のとおり、3年目に照明を改良したことにより画像コントラストが向上し輪郭もシャープになっている。

照明が完全に均一になる必要は無く、概ね均等に分布していれば良い事が確認出来た。

2-2-3 深被写界深度顕微鏡の開発 (実施：ソフトウェア株式会社)

10 μm 以下の微細で円錐・角錐形状の金属バンプを観察するためには、倍率 20 \times 程度で解像度 1 μm 以内であるとともに、被写界深度としても 10 μm ($\pm 5 \mu\text{m}$) 程度が求められる。従来の金属顕微鏡では倍率 20 \times の場合、解像度は 0.7 μm 程度と十分であるが、被写界深度は 3 μm 程度に過ぎず、大幅に能力不足である。レーザー照明を前提とした波長固定の設計により被写界深度の深さと解像度の高さにおいて従来の金属顕微鏡を凌駕する顕微鏡を開発した。

表 2-2-1 深被写界深度顕微鏡の開発仕様

光学系緒元		
被写界深度	$\pm 5 \mu\text{m}$	
倍率	20 倍	
限界解像度	500 lp/mm にて 20%以上	
作動距離	40 mm 以上	
視野幅	実像高 1.43mm 以上	
光学系全長(像面～結像面)	736mm	
検出器		
ラインセンサ	DALSA ES8K	
ピクセルサイズ	7.0 \times 7.0 μm	
ピクセル数	8192	
センサ高さ	7.0 μm	
センサ長	57mm	
スリット照明		
方式	同軸落射照明	
中心波長	450 \pm 20 nm	要検討
波長幅	5nm	要検討
物体面照明高さ	2 μm 以下	目標値
物体面照明長さ	視野幅以上 mm	
焦点深度	30 μm 以上	目標値
駆動方式	パルス駆動又は疑似 CW	
照明強度	100mW 以上	

図 2-2-10 に開発した深被写界深度顕微鏡の図面を示す。

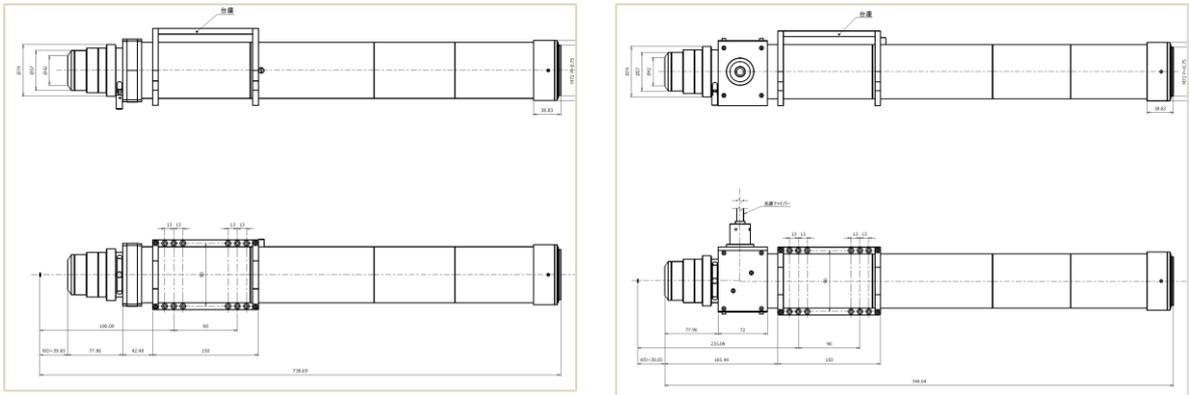


図 2-2-10 深被写界深度顕微鏡 図面

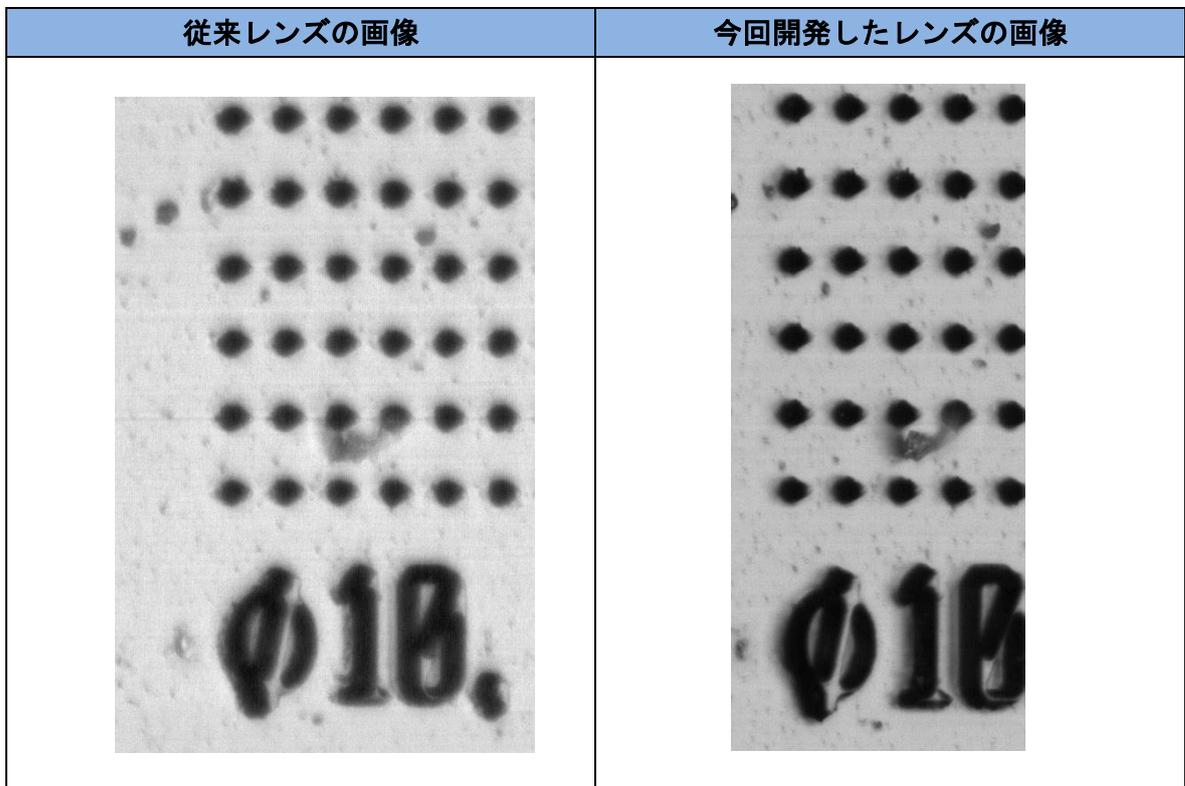


図 2-2-11 従来レンズと今回開発したレンズの画像比較

最初に $30\mu\text{m}$ 径のバンプまで対応できるように被写界深度 $30\mu\text{m}$ の顕微鏡を開発したが $10\mu\text{m}$ 径のバンプではボケが目立ち、測定精度が不足する要因となった。次に $10\mu\text{m}$ 径までのバンプに対応するように深被写界深度 $10\mu\text{m}$ ($\pm 5\mu\text{m}$) の顕微鏡を開発し、測定精度が低下する原因（ボケ）が大きく減少した。

図 2-2-11 は、従来（1年目に開発）レンズと今回開発したレンズの画像比較である。なお、両画像共に3年目に開発した青色レーザー照明を使用している。

2-2-4 高速画像処理アルゴリズムの開発 (実施：ソフトウェア株式会社)

2年目に次のステップで実現する FPGA で処理可能な画像処理アルゴリズムをパソコンソフトウェアとして、作成した。

(1) アルゴリズムの開発

FPGA で実現可能である比較的単純なアルゴリズムでソフトウェアを作成した。特に画素を補間するサブピクセル処理は FPGA が苦手とするので避けた。

表 2-2-2 高速化の手法

パソコン	OS Windows7 64bit	カメラ画素分解能が 0.35 μ m/画素であるため、8 インチウェハを撮像すると約 4.7GB のメモリが必要となる。OS に 64bit を選択し、パソコンの処理をバンプ検査に専念出来るようにプログラム全体を 64bit で作成している。
	Memory 16GB	OS に 64bit を採用したことでメモリ管理に余裕ができたので(最大 192GB:Windows 7 Professional)画像撮像用、画像処理用に独立してメモリを確保できる大きさとした。
	CPU Intel Core i7-4770	ハイパースレッド可能な 4Core CPU で、同時に 8 つ迄のスレッドを実行できる。 処理時間がかかると予想されるバンプ画像処理をマルチスレッド化し、高速化を図る。
画像処理 ライブラリ	64bit OS に対応、マルチスレッド処理可能な MIL9 を使い、弊社の画像処理技術と併用したプログラムを作成している。	
検査ソフトウェア 開発言語	64bit ソフトウェアを開発可能な、Visual Studio 2013 を採用し、プログラムやライブラリを全て 64bit で作成している。 またライブラリには CLI(Common Language Infrastructure)を採用し、ネイティブコードで画像処理を実行し高速処理を行っている。	

2-2-5 まとめと今後の課題

上記のとおりパソコンのリソースを活用しソフトウェアによる高速化を図った。

FPGA メーカーより現状のアルゴリズムが 2 レベル (処理の一部又は大部分) で FPGA 化可能との返答を受けているが、ソフトウェアが目標より高速になり既に FPGA 化のメリットが無いと判断し、3年目はソフトウェアの改良でさらなる高速化を目指した。

2-2-6 高速画像処理アルゴリズムのソフトウェア作成及び精度検証

(実施：ソフトウェア株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所)

高速画像処理に関するアルゴリズムによる処理プログラムを作成し、バンプ画像に対する形状情報取得の処理についての精度検証を行い、十分な寸法精度を得られる事を確認した。

(1) 6インチウェハの全面スキャンの撮像時間

6インチウェハの全面スキャンの撮像時間の検証を行った。

ウェハ全面を検査する必要がある場合には、撮像と画像処理を並列処理して、処理が撮像に間に合った場合が物理的な検査時間の限界であり図 2-2-12 に示すとおり約 13 分 (約 770 秒) が物理的限界時間となる。

■ 約 770 秒 / ウェハ

- ウェハを全面スキャンするのに必要な撮像ライン 94Lane
視野サイズ：約 2.9 mm (カメラ分解能：0.35 μ m / 画素)
1Lane の最長スキャン距離：150mm + 35mm (3D 左右視点間隔)
- カメラの撮像レート
2D:68K lines / 秒 3D:48K lines / 秒

図 2-2-12 6インチウェハの全面スキャン(検査無し)時間結果

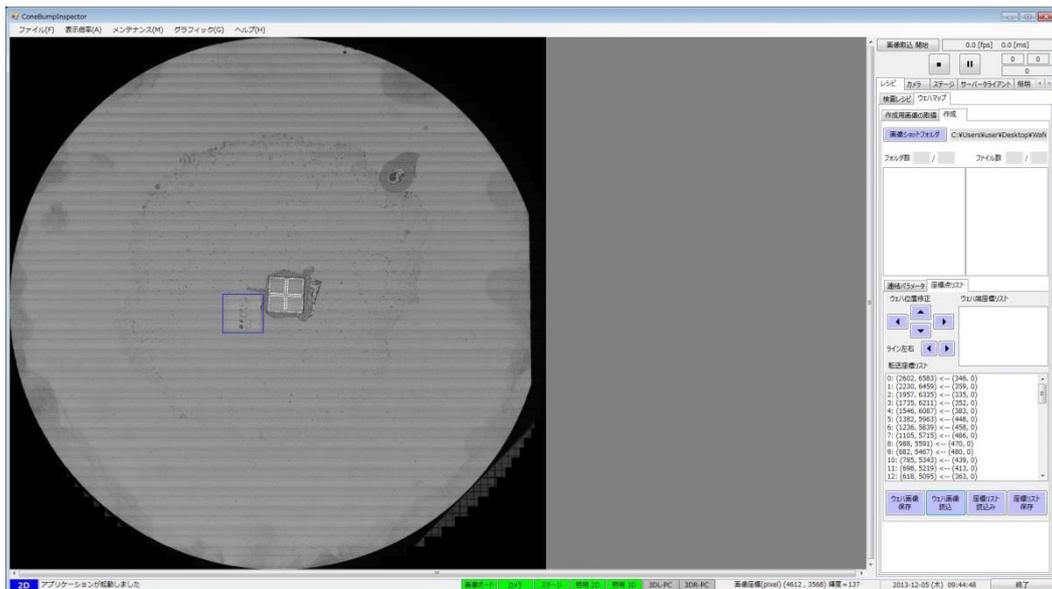


図 2-2-13 6インチウェハの全面スキャン画像

(2) 測定再現精度の検証

高速検査装置を用いて計測を行い、2D バンプ径 (X 径、Y 径) と 3D バンプ高さなどを測定し再現精度の検証を行った。

A) 測定結果まとめ

最終的に完成した高速検査装置での測定画面は図 2-2-14 のとおりである。

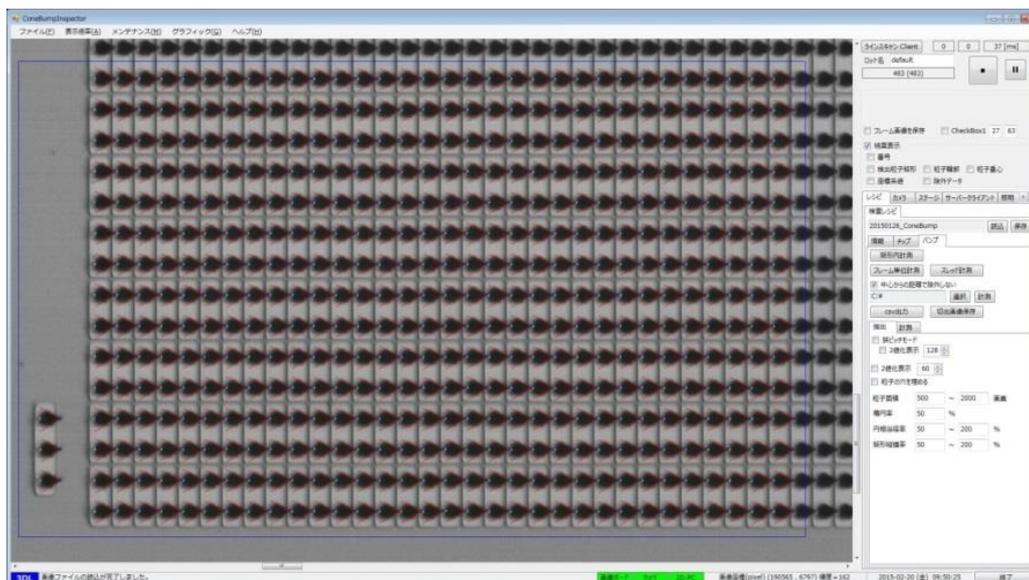


図 2-2-14 円錐バンプ 3D 測定画面

表 2-2-3 高速検査装置の計測結果まとめ (ばらつき=σ : 標準偏差 μm)

	2 D		3 D	
	X 径	Y 径	輪郭高さ	斜辺高さ
AVERAGE	0.03	0.02	0.25	0.30
MAX	0.05	0.07	0.38	0.40

計測結果のばらつきは、表 2-2-3 の標準偏差の値でもわかるように、目標値を設定していないが 2D の再現精度は $0.1 \mu\text{m}$ 以内で非常に小さく、3D においても $0.4 \mu\text{m}$ 以内と目標値 ($\pm 0.3 \mu\text{m} = 0.6 \mu\text{m}$ 以内) よりも高い結果となった。

2-2-7 高速画像処理装置画像処理部の開発 (実施：ソフトウェア株式会社)

高速検査装置の測定時間の当初の目標が 6 インチウエハ 20 分であったが、開発した装置では 13 分となり目標よりも高速になった。またこの時間は撮像時間であり、パソコンソフトウェアによる処理時間は、撮像時間よりも短い。撮像とソフトウェア処理は並行して行うので、現状でこれ以上高速処理する必要が無くなった。

また処理時間の大半は複雑な計算部分であり FPGA 化が困難である。FPGA 化が容易な処理部分はパソコンソフトウェア処理時間の一部に過ぎない為に、仮に FPGA 化したとしても効果は極めて小さい。バンプ数が現状の 2 倍以上となると処理時間が撮像時間より長くなる可能性があるがその場合でも、FPGA 化はコストの割に効果が小さい。むしろ、そのような場合には複数のパソコンによる並列処理を行う方が安価で確実であるため、今回は、パソコンによる並列処理による開発を行った。

2-2-8 高速画像処理装置の能力確認

(実施：ソフトウェア株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所)

3 年目は、開発した高速画像処理装置の処理速度及び寸法精度について、先鋭バンプの評価実験用サンプルを用いて、評価実験を行い、確認を行った。

(1) ウェハ状態での検査に対応するためのソフトウェアの改良

本研究は円錐バンプを形成したウェハ上でバンプ測定を行う事にあり、それは実際の測定状態に対応した機能である。ソフトウェアの機能としてはバンプの位置を自動検出する事である。

円柱バンプを形成したウェハを用いて本機能の研究を行った。機能自体は上記のようにバンプ位置を自動検出する事にあるので、バンプが円錐では無く円柱であっても、その機能の確認を行う事は可能である。

またバンプ位置の検出方法は下記の通りである。

- ・バンプのあるべき座標を登録する。
- ・XY ステージの座標と画像上のバンプ位置から検出したバンプと認識できる物の座標を求める。
- ・あるべき座標群に最も近いバンプ群を算出する。

図 2-2-15 は、3DL 測定 MAP である。緑の箇所が 2D で検出したバンプ座標群で、青色が 3DL の検出したバンプ座標群となる。

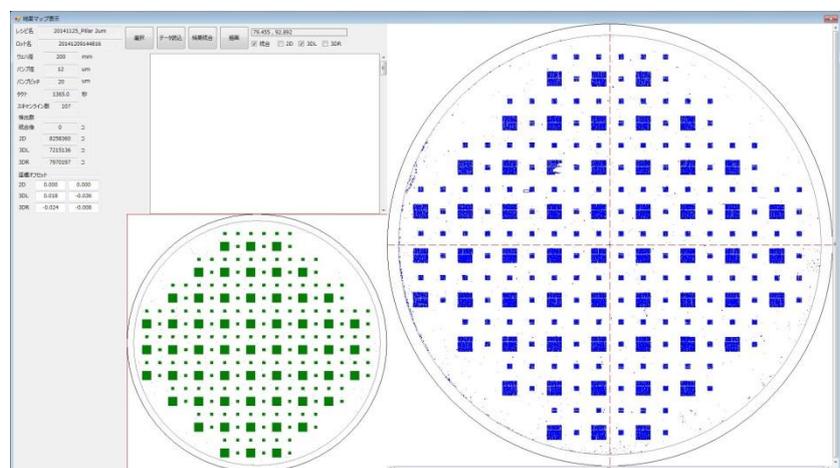


図 2-2-15 3DL 測定 MAP

(2) ウェハ状態でのバンプの検査時間の能力検証

ウェハ全面スキャンの撮像時間の検証を行った。

2年目の研究によって、6インチウェハの円錐バンプでは、約13分（約770秒）が物理的限界時間であることがわかり、ソフトウェアの処理時間が、物理的限界より早いこともわかっていった。

3年目は、8インチウェハにおいて、実際の全面検査時間の測定を実施した。

また、8インチウェハでは、図2-2-16のと通りの1365秒の結果となった。

8インチウェハと6インチウェハの面積比は、約1.78である。計算では、6インチウェハの770秒に対して、1.78倍は、1369秒になるので、上記の物理的限界時間で測定できたことが分かった。

結果マップ表示	
レジピ名	20141125_Pillar 2um
ロット名	20141209144816
ウェハ径	200 mm
バンプ径	12 um
バンプピッチ	20 um
タクト	1365.0 秒
スキャンライン数	107
検出数	
統合後	0
2D	8258360
3DL	7215136
3DR	7970197
座標オフセット	
2D	0.000 0.000
3DL	0.018 -0.036
3DR	-0.024 -0.008

図2-2-16 8インチウェハの全面検査時間結果

(3) レーザー顕微鏡との比較検証

3インチウェハの円錐バンプで、高速検査装置とレーザー顕微鏡の測定比較を実施した。

レーザー顕微鏡と高速検査装置の輪郭高さの誤差は、表2-2-4のとおり平均で0.2μmとなり概ね一致している。

なお、図2-2-17のバンプ番号9は、輪郭高さの誤差があるが小径の潰れ（未形成）が先端にあるためと考えられる。

小径の潰れ（未形成）が先端にある場合は、輪郭高さの誤差が最大1μm程度生じるが、体積への影響は小さく実用上の問題はない。

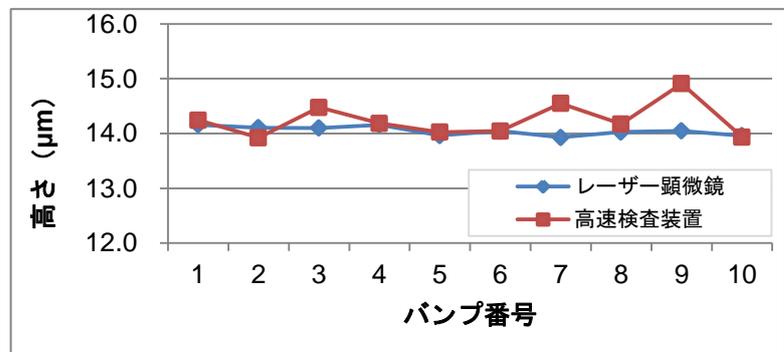


図2-2-17 高速検査装置とレーザー顕微鏡との輪郭高さ比較

表2-2-4 高速検査装置とレーザー顕微鏡との輪郭高さ比較結果まとめ（単位：μm）

	MAX	MIN	MAX-MIN	AVG
レーザー顕微鏡平均 (A)	14.16	13.93	0.23	14.05
高速検査装置平均 (B)	14.91	13.92	0.99	14.25
高速検査装置σ	0.43	0.28	0.15	0.35
(A) - (B)	0.86	-0.18	1.04	0.2

第3章 全体総括

本研究開発では、平成 24 年度から平成 26 年度までの 3 年間、次世代高密度実装に用いられる円錐・角錐等の微細先端バンプの形状検査技術の確立を目的とし、事業レベルでの利用を目指して微細先端バンプの形状検査技術を用いる新たな検査装置を開発した。各年度の研究開発成果は以下の通りである。

1 年目は、基本技術の確認の為に既製品の組み合わせと簡単な搬送機構及びソフトウェア開発で実現出来る「レビュー用簡易検査装置」を開発し、本手法による測定項目と精度を確認した。また開発期間の長い深被写界深度顕微鏡も開発した。

2 年目は、本来の目標である「高速検査装置」を開発し、目標に近い再現精度と目標以上の高速検査時間を実現した。

3 年目には深被写界深度顕微鏡や青色レーザー拡散照明などの改良を行い、目標精度であるバンプ高さ測定再現精度を $\pm 0.3 \mu\text{m}$ 以内／標準偏差を達成した。

3 年間の研究成果は、以下のとおりである。

【レビュー用簡易検査装置の開発】

- 真上及び斜め 45 度から $5 \mu\text{m}$ ϕ バンプ形状を明瞭に観察可能な機構が作成できた。
- バンプ高さ及び形状異常を数値で出力可能なソフトウェアを作成した。
- バラつきは輪郭高さで最大 $0.27 \mu\text{m}$ となり、目標（バンプ高さ測定再現精度を $\pm 0.3 \mu\text{m} = 0.6 \mu\text{m}$ 以内）を達成した。

【高速検査装置（微細先鋭バンプ検査装置）の開発】

- バンプ高さ測定再現精度を $0.4 \mu\text{m}$ 以内となり、目標（ $\pm 0.3 \mu\text{m} = 6 \mu\text{m}$ （標準偏差）以内）に達した。
- XY ステージの速度安定性は $\pm 1\%$ 以内、上下左右ガタ $\pm 0.1 \mu\text{m}$ 以内の目標に達した。
- 青色レーザー照明は、青色 LED に比べて約 30 倍の明るさとなった。
- 深被写界深度レンズの倍率は、20 倍とし、光学分解能 $1 \mu\text{m}$ 以内、被写界深度 $10 \mu\text{m}$ （ $\pm 5 \mu\text{m}$ ）となった。
- 検査時間は 6 インチウエハで 13 分となり、目標を達成した。

なお、本装置の技術は、スタッドバンプや微細先端バンプなどの先端がとがったバンプの他、現状のほぼすべてのバンプの測定も可能であり、形状を問わず微細バンプの測定には有効な装置である。

今後は、バンプの微細化が、さらに進み、当面 $2 \mu\text{m}$ 程度まで想定されている。本装置では、 $5 \mu\text{m}$ がかるうじて測定できる限界であるため、UV レーザー光源の採用などにより、微細なバンプ測定技術のさらなる向上を目指す。

