

平成２３年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「自動化/共通化されたフォトリソ検査装置の開発」

研究成果報告書

平成２４年　３月

委託者　関東経済産業局

委託先　株式会社　アジャイル・パッチ・ソリューションズ

目 次

第1章 研究開発の概要	3
1－1. 研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1－2. 研究開発体制	4
1－3. 成果概要	4
1－4. 当該研究開発の連絡窓口	5
第2章 本論	6
2－1. 検査準備システムの開発	6
2－2. 欠陥検査用データ変換プログラムの開発と評価	8
2－3. 欠陥検査用大容量メモリ・バッファシステムの研究	10
2－4. 検査仕様情報に基づいた、自動制御検査ステージの開発	15
2－5. 光学系の開発	17
2－6. 制御ソフトの開発	19
2－7. 欠陥検査用画像処理ソフトの開発	20
2－8. 欠陥自動分類ソフトの導入の検討	25
第3章 開発成果のまとめ	26
3－1. 複数年の研究開発成果	26
3－2. 研究開発後の課題・事業展開	27

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】. 要約

当研究において川下製造業者は、半導体用フォトマスクの製造を行う会社がそれに該当する。彼等が抱える”高品質・短納期・低コスト”の課題を高度化指針が掲げる”(一)組み込みソフトウェアに係わる技術”の高度化を活用することによって解決を図ろうとするものである。

当プロジェクトでは、パワーデバイスの製造に必要不可欠であるフォトマスクの、その製造過程で使用される検査装置を開発し、販売することを目的としている。対象となるフォトマスクは、SiCやGaN等の化合物半導体を使用した”新世代パワーデバイス”の生産で使われるフォトマスクを主な対象としている。設計ルールと言うならば $1\mu\text{m}$ ～ $0.25\mu\text{m}$ 用半導体デバイス用のフォトマスクを対象とした検査装置である。

また、検査装置とはCD測定、欠陥検査、長寸法測定の3種類の検査を行う装置を示す。

寸法的にはD-RAM等のシグナルデバイスに当てはめるならば、1990年頃の設計ルールに該当し、いわばローエンド品と呼んで差し支えない。しかし、現在ではこのクラスのフォトマスク検査装置を手がけている会社は何処もなく、これまで見落とされてきた問題点である。

【2】. 研究開発の背景及び当該分野における研究開発動向

かねてから地球温暖化への対策が急がれており、世界中の国々で、CO₂の削減を目指す様々な政策が取られてきた。

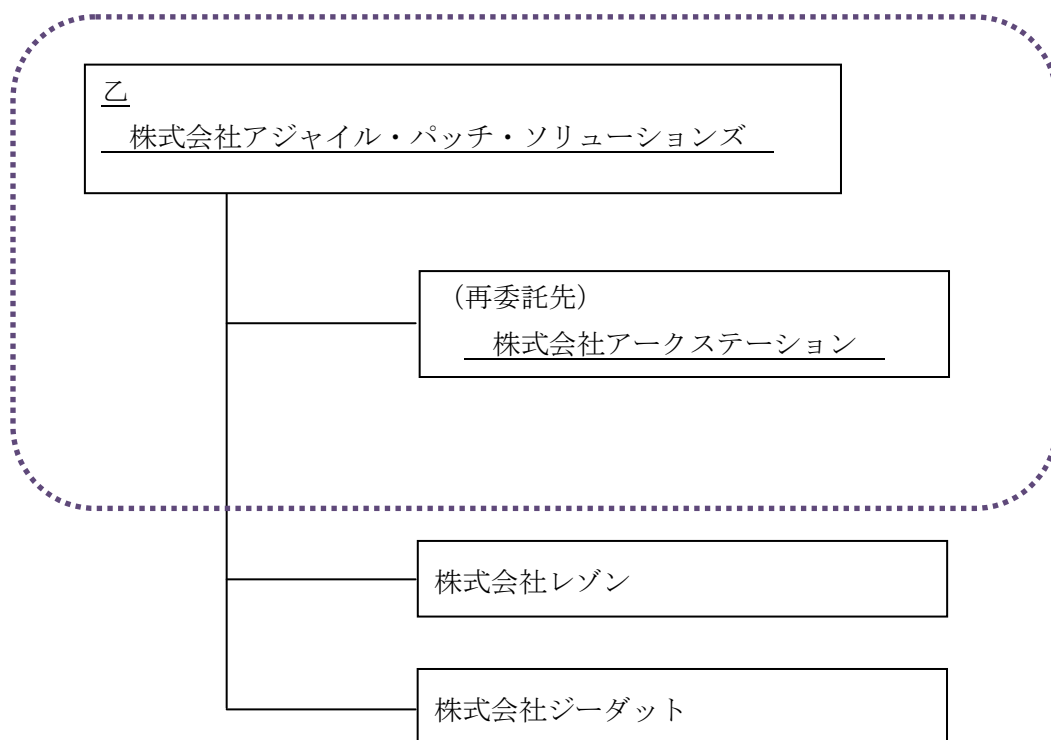
さらに、平成23年3月11日に発生した東日本大震災と、その津浪に依って引き起こされた福島第一原子力発電所の事故は、クリーンエネルギーの一つとみなされていた原子力発電に大打撃を与えた。これにより、電力供給の不足が懸念されるようになり、これまで以上に再生可能エネルギーによる発電の推進が求められるようになってきた。

グリーン・テクノロジー関連では、太陽光発電や風力発電、スマートグリッド、LED照明、電気自動車などが注目を集めている。これらは全て電気エネルギーを発電、送電、蓄積などして使用する技術である。その際、電力を効率良く制御するための中心的な役割を果たすデバイスがパワーデバイスである。

最近ではSiCやGaN等の化合物半導体を用いたパワーデバイスの実用化の段階に入り、市販が開始された。SiCやGaN等の化合物半導体を使ったパワーデバイスは、これまでのパワーデバイスの設計ルール $1\mu\text{m}$ の壁を破って、さらに微細化が進むであろうと言われている。我が国でも、経済産業省の下、産業技術総合研究所(産総研)や新エネルギー・技術総合開発機構(NEDO)などがイニシアチブを取りながら官民一体となってこれらのパワーデバイスの早期実用化を目指している。現時点では、SiCはウエハーの平滑度やエピタキシャル成長工程に、GaNは基板の歪みなどに問題が残っていて、デバイスのプロセスの改善がメインのテーマになっている。この問題が解決した後には製品開発の競争が始まる。

さらに、先述したような CO2削減のための社会的なニーズが重なるときに、パワーデバイスの製品開発競争が活発化する事態が考えられ、それに見合ったフォトマスクの大量生産が求められるようになる。

1-2. 研究開発体制



1-3. 成果概要

① 検査準備システム

レシピファイル(検査準備ファイル)を作成するシステムの開発。SEMI-P10の規格の内容を研究し、世界標準となるファイルフォーマットの開発と、マスクパタンビューワを用い、複雑な SEMI-P10 を意識せずにレシピファイルを作成し、検査準備を容易にするソフトウェアの開発を行った。(平成22年度)

②データ変換プログラム

フォトマスクの設計データから、データ比較欠陥検査(DB検査)用のビットマップデータを生成するプログラム(データ変換プログラム)の開発と変換時間の評価を行った。(平成23年度)

③大容量メモリ・バッファシステム

欠陥検査でスキャナが取得した画像と、DB検査においてはイメージコンピュータが生成した画像を一括して保存しておくための大容量メモリ・バッファシステムの研究を行った。(平成23年度)

④ 自動制御検査ステージ

検査の一連の動作を研究し、ステージのコントロールの自動化の実現をする研究を行った。検査機の電源投入時の初期動作(アライメントなど)を機能別に一連の動作とし、ステージの自動制御プログラムを開発した。(平成22年度)

⑤ 光学系の開発

レンズ、レーザーを購入し、実画面の撮影を行った。検査装置用の光源として、波長 375 nm の半導体レーザーを用い、試作メーカーの協力の基、同半導体レーザーによる、画像評価を行った。(平成22年度)

⑥ 制御ソフトの開発

CD 検査(線幅測定)の開発を行い、エッジの検出方法、疑似検査機プログラムの開発によりハードウェアパーツの制御の研究と、操作性の優れた GUI の開発を行った。

CD 検査の実行と検査中~検査結果のレビュー。特に結果レビューの表示方法として、検査画像の表示方法の研究を行った。(平成22年度)

⑦ 欠陥検査用画像処理ソフトの開発

欠陥検査において蓄えられた画像同士を比較して、欠陥を見つけ出すための画像アライメントプログラム並びに、欠陥検出プログラムの開発を行った。(平成23年度)

⑧ 欠陥自動分類ソフトの導入の検討

見つけ出した欠陥を自動的に分類し、有意欠陥と疑似結果、無視してよい欠陥を自動的に識別する既存のプログラムを当研究で開発する装置への適用の検討を行った。(平成23年度)

1-4. 当該研究開発の連絡窓口

株式会社 アジャイル・パッチ・ソリューションズ

代表取締役 山本 敏

E-mail : bin_yamamoto@agile-patch.co.jp

神奈川県横浜市中区尾上町 5-80 神奈川中小企業センタービル 7階

電話 : 045-664-4430 FAX : 045-263-8131

第2章 本論

2-1. 検査準備システムの開発

本章では、SEMI P10 ファイルを読み込み、レシピファイルに変換して APS 検査装置に送信するまでの流れについて述べる。全体の処理を示したシステム構成図を示す。(図 2-1)

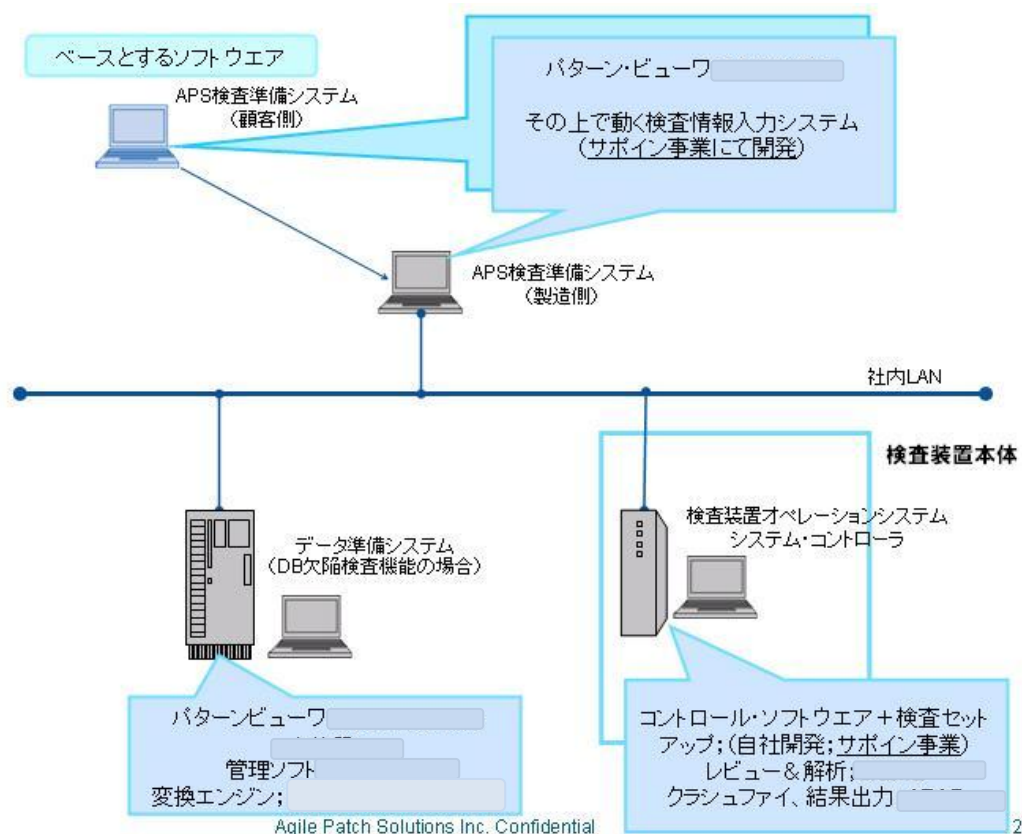


図 2-1 システム構成図

顧客側、すなわち半導体デバイスメーカーに仕様を入力するシステムを設置する。このシステムを使って、入力した検査仕様は、P10 規格に準拠したレシピファイルとして生成される。

検査装置は、このレシピファイルがあれば、自動的に検査が実行できるようになる。仮に他社の装置であっても、P10 ファイルに対応できるようにすれば、自動的にセットアップ、検査ができるようになる。

一方、顧客から完全なレシピファイルをもらわなければ、検査ができないような装置を作ってしまうと、現実的には運用できない例も多く出てくると思われるので、レシピファイルをフォトマスク・メーカーでも生成できるようにしたり、レシピファイル無しで、従来通り、マニュアルでセットアップ、検査もできるようにした。

データのフローは図 2-2 のようになっている。

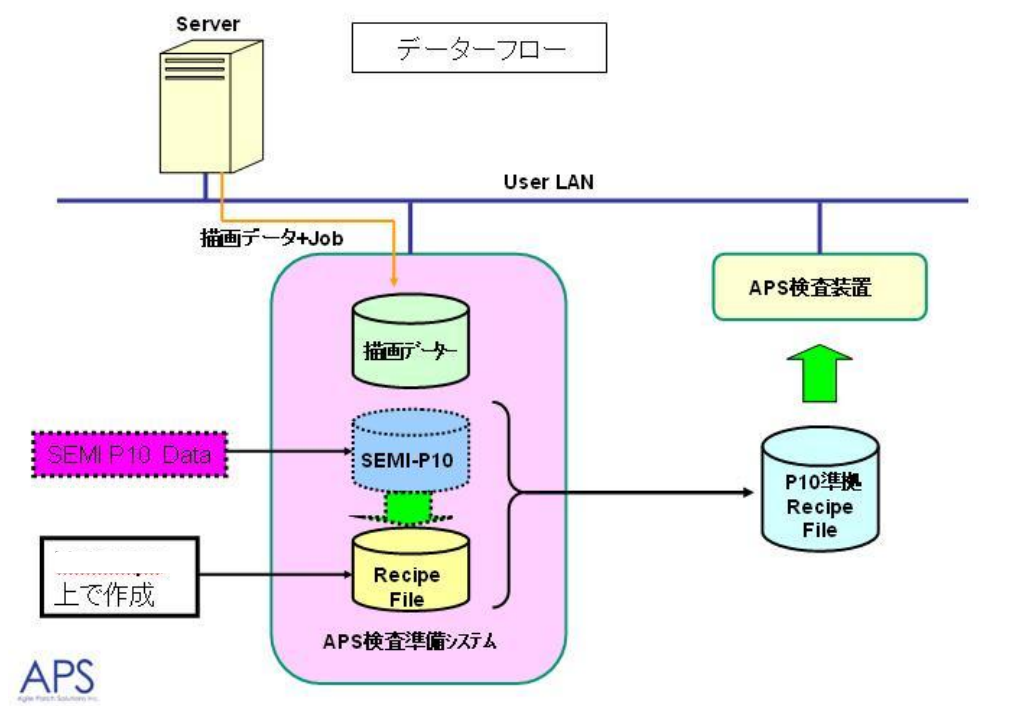


図 2-2 データーフロー

次に実際のレシピ作成フローを図 2-3 に示す。

レシピ・ファイルは共通部分（マスク名、アライメントマーク指定、キャリブレーション）部分と各種検査別のパラメータ入力部分に分かれる。

共通項目の入力後、CD 測定パラメータ入力、欠陥検査パラメータ入力、位置精度測定パラメータ入力の指定をして、レシピ・ファイルを作成する。

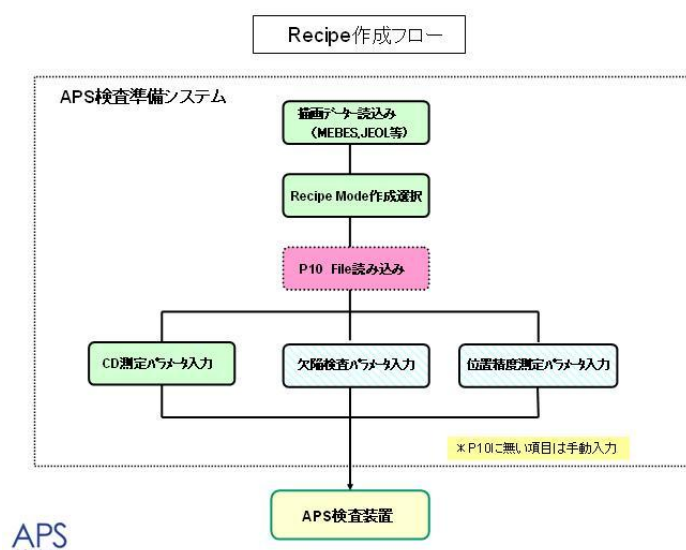


図 2-3 Recipe 作成フロー

開発した、APS 検査準備システムを図 2-4 に示す。

このベースソフトはパターンビューワであり、ツールの中から“APS-CD”を選択する事により、検査情報を入力する部分が表示される。

画面の左側がパラメータ表示や入力する部分で、この中の上段がマスクに関する基本情報の入力、表示部になる。

基本情報の下のタブ、ALIGNMEN,CALIB,CD を選択すると、各種の詳細な設定画面を表示する。

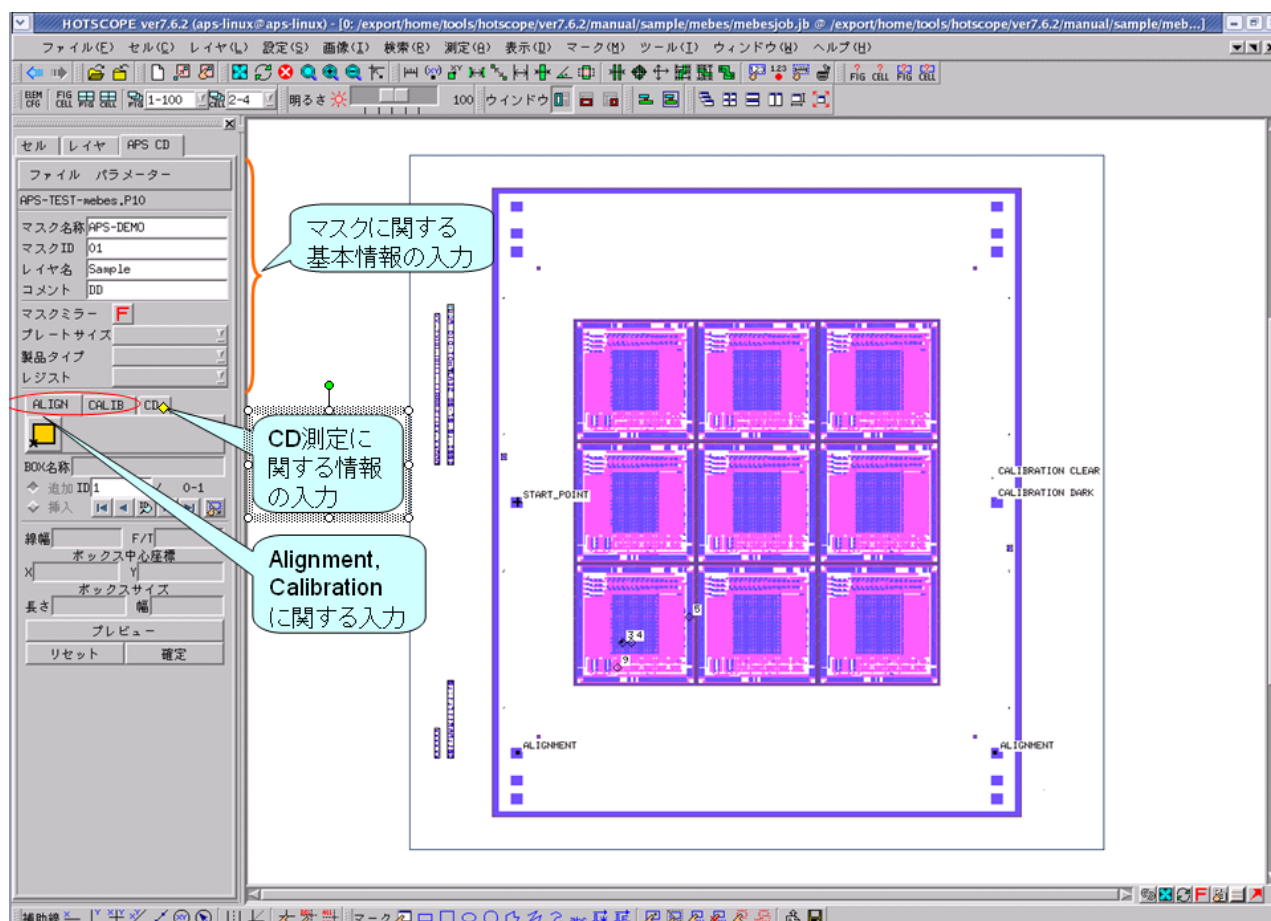


図 2-4.APS-CD 起動画面

2-2. 欠陥検査用データ変換プログラムの開発と評価

欠陥検査はフォトマスク上に本来必要なパターンが欠落していたり、逆に不必要なパターンや異物があるなどして、設計者の意図しない形状のパターンが存在するのを検出する検査のことを指す。

フォトマスク上に同じパターンから成る二つ以上のチップがある場合、そのチップ同士を比較して欠陥を検出することができる。フォトマスクの場合、チップのことをダイと呼んでおり、ダイ同士を比較する検査のことをダイ比較検査あるいは、ダイ ツー ダイ検査などと呼んでいる。

しかし、フォトマスク上に比較しうる二つのダイが無い場合には、フォトマスク上のダイと、それを描画するために使用したパターン・データあるいはその元になった設計データとを比較して検査する必

要がある。また、比較しあえるダイが存在しても、あえてパターン・データと比較する検査が要求される場合も有る。

このフォトマスク上のダイと、それを描画したパターン・データ、設計データとを比較して欠陥を検出する仕組みをデータベース検査（略してDB検査）と言う。

DB検査の場合、描画データ、設計データのフォーマットは描画機固有で様々な種類があるので、一旦、それらのフォーマットを検査装置用のフォーマットに変換するのが通常である。この、様々なフォーマットの描画データ、設計データを検査装置用のフォーマットのデータに変換するプログラムのことをデータ変換プログラムと言う。

当研究で開発するDB欠陥検査装置の検査用フォーマットには被圧縮のビットマップデータを採用した。ビットマップデータは、ファイルサイズの点で非常に不利ではあるが、そのデータをデータ比較用のイメージコンピュータに流す際には、被圧縮化の行程が必要なく、装置本体を単純化できる利点があることと、後述大容量メモリ・バッファシステムを使用することで検査に使うデータ全てを収納できるので、ビットマップデータを採用することにした。

2-2-1. データ変換プログラムの評価

本変換プログラムを使用して、同じLSI用配線パターンが収納された異なるフォーマットのデータから、それぞれビットマップデータを生成し、その変換時間を評価した。その結果を図2-5に示す。

変換元となるパターン・データのフォーマットはOASIS、GDSII、そしてMEBESである。この中でOASISとGDSIIは特定の描画装置に依存しない、CAD設計用のデータである。

GDSIIデータは20年以上前から設計用のCADで取り扱うデータ、即ち設計データのデファクト・スタンダードとなっているフォーマットである。

OASISデータは、SEMIが主体となってまとめたGDSIIデータをベースにさらに圧縮率を高めたデータフォーマットであるが、複雑なデータ構造を持っている。

MEBESデータは過去に大きなシェアを持っていた米国パーキンエルマ社の描画装置MEBES用のフォーマットである。同社と同社の描画装置は様々な変遷を経た後、現在は既に会社はなくなり、描画装置も生産はされていない。しかし、一時圧倒的な市場シェアを持っていたためにMEBESデータは流通用の描画パターン・データのフォーマットとしてデファクト・スタンダードになっている。

入力フォーマット	OASIS (PNG)	GDSII	MEBES mode5
エリア	XY=128/128 (mm)		
入力ファイルサイズ	607 MB (TOTAL)	14,470,100 Bytes	1,744,234,496 Bytes
パターン数	16,384 (ファイル数)	41,436	113,133,183
エッジ数	未測定	1,637,708	452,532,732
出力イメージフォーマット	BMP	BMP	BMP
イメージ解像度 (ピクセルサイズ)	0.1um x 0.1um	0.25um x 0.25um	0.25um x 0.25um
イメージサイズ	10,000 x 10,000 pixels	512,000 x 512,000 pixels	512,000 x 512,000 pixels
イメージファイル数	1	1	1
合計イメージファイル容量	607 MB	30.19 GB	30.19 GB
合計変換時間	5,833 sec	1,315 sec	1,404 sec
ピーク時メモリー使用量	248 MB	未測定	未測定
使用したコンピュータ	OCPU: Intel® Xeon® X5570 Quad Core @ 2.93GHz O使用コア数: 2 (ラスタ化: 1、BMPファイル集積: 1) ORAM: 48 GB OOS: CentOS release 5.4		

図 2-5 ビットマップデータへの変換時間の評価結果

2-2-2. 変換結果に対する考察

このデータ変換の結果の評価で大切なのは、変換時間である。

変換に一番長い時間を要したO S A S I Sからビットマップデータへの変換で5, 8 3 3秒、即ち1時間37分であった。これはDB検査時間を2時間と想定すると検査時間内に次のデータ変換が完了することになるが、検査時間を1時間にすることが目標なので、それをオーバーしてしまう。

一方、G D S I Iファイルからの変換は約22分、M E B E Sファイルからの変換は約23分であった。これらの結果は良好である。

O A S I Sファイルの変換時間をもう少し短縮する必要があるが、一般的に当研究開発がメインのターゲットとしているパワーデバイス用フォトマスクは、データサイズが小さく、O A S I Sフォーマットの使用も、今のところ一般的ではないので、当面はこの変換性能で良いこととする。

また、通常の検査機固有のフォーマットの検査ファイルを使用する場合には、そのファイルサイズの大きさも問題になる。

しかし、当研究で開発する装置はビットマップデータという被圧縮のファイルを使用しているので、そのファイルサイズは分解能(pixel size)と変換エリアの大きさで一意的に決まるので、分解能と検査エリアを想定した保存用メモリを予め用意しておけばよい。

2-3. 欠陥検査用大容量メモリ・バッファシステムの研究

2-3-1. 大容量メモリ・バッファシステムを導入する背景

当研究で開発を行っている装置特徴の一つが、欠陥検査用の大容量メモリ・バッファシステムの導入である。

これは、従来の欠陥検査装置が、スキャナの進行に合わせてスキャナが採取してくる画像と、その比較用の画像、即ち、ダイ比較検査の場合には同じくスキャナが採取してくる比較相手のダイの画像であり、DB検査の場合には前述の変換ソフトで生成したビットマップデータであるが、その画像同士を比較検査して欠陥を検出するイメージコンピュータとが同期を取りながら検査が進行する仕組みになっている。

簡単にまとめると、画像を採取してくるスキャナと画像を比較して欠陥を検出するイメージコンピュータが同期を取りながら検査が進行する。

この場合、スキャナはフォトマスク上の検査対象エリアのパターンの粗密に関係なく、一定の速度で動くことが求められる。他方、イメージコンピュータは、処理エリアのパターン密度が小さい場合や単純な図形の場合には瞬時に処理できるが、パターン密度が高い場合や複雑な形状の場合には長い処理時間が要求される。この詳細については次節の中で解説する。

この2者の性質の違いを吸収するために、従来の欠陥検査装置はイメージコンピュータの比較処理部分を複数並列化させ、それぞれにメモリを持たせることで、ある程度のパターンの粗密があってもスキャナは一定のスピードで進行できるような工夫がなされている。

しかし、イメージコンピュータの処理能力が、スキャナのスピードに追いついて行けなくなると、イメージコンピュータからスキャナ側に信号を送って、その場でスキャナの進行を一時止めてイメージコンピュータの処理が終わるまで待つことになる。

このような状態をキックダウンが発生している状態と言い、検査時間が長くなる最も大きな要因だと

言われている。また、キックダウンの発生頻度を低く抑えるためには、イメージコンピュータの瞬間処理能力を高める必要がある。即ち、想定される検査で最もパターン密度が高く且つ複雑なエリアを仮定して、その部分の処理能力を確保できるようにシステム設計を行う必要がある。さらに、スキャナとイメージコンピュータと間のハンドシェイクが複雑になり、これらのことがフォトマスク欠陥検査装置の価格高騰の一因になっていた。

そこで当研究では、検査エリアの全面的画像－DB 欠陥検査の場合には比較用の画像を含む－を一時的に全て保存しておくことができる大容量メモリ・バッファシステムを考案した。スキャナはスキャンした画像をそこに全て蓄えられるようにする。一方、イメージコンピュータは検査が開始されたら、そのメモリ・バッファシステムから画像を引き出し、欠陥検出を行う仕組みにした。

これによって、スキャナとイメージコンピュータの間が非同期の関係になり、装置の制御の仕組みが単純化されると共に、イメージコンピュータのピーク性能も低く抑えることができるので装置の本体価格の低減に寄与する。

2-3-2. 大容量メモリ・バッファシステムの構造

図 2-6 に従来型の DB 欠陥検査装置について、画像処理に着目した構造を示す。

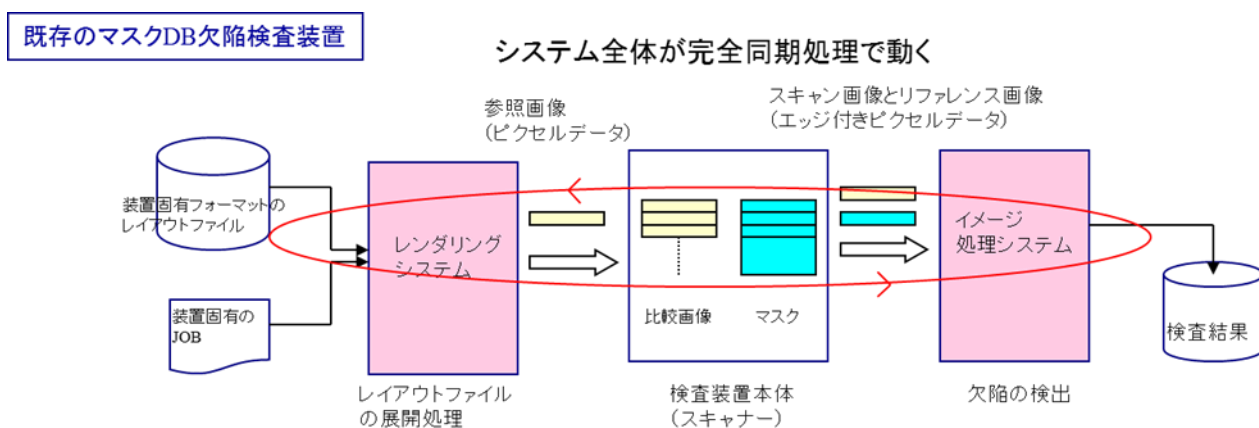


図 2-6：従来型の DB 欠陥検査装置の画像処理の構造

上図の左側に、欠陥検査用に準備したデータファイルと、それをフォトマスク上にレイアウトするためのジョブファイルを準備する、

中央の検査装置本体、即ちスキャナが検査対象マスクのスキャンを開始すると、間のレンダリングシステムが、検査位置に合致した領域のパターン・データを切り出し、ビットマップデータのような被圧縮の図形データに変換し、スキャナから得たスキャン画像と共にイメージ処理システム、即ちイメージコンピュータに伝送する。

イメージコンピュータは、参照データをスキャン画像に似せるためのエッジ処理や歪み補正、倒れ補正をかけた後、この処理後の参照データと、スキャン画像データを比較して欠陥を見つけ出し、それを検査結果として保存する。

この動作においては、レンダリングシステム、スキャナ、イメージコンピュータの全てのシステムの間で同期を取りながら欠陥検査が進行する。

一方、当研究で開発する DB 欠陥検査装置、即ち大容量メモリ・バッファシステムを組み込んだ装置の構造を図 2 に示す。

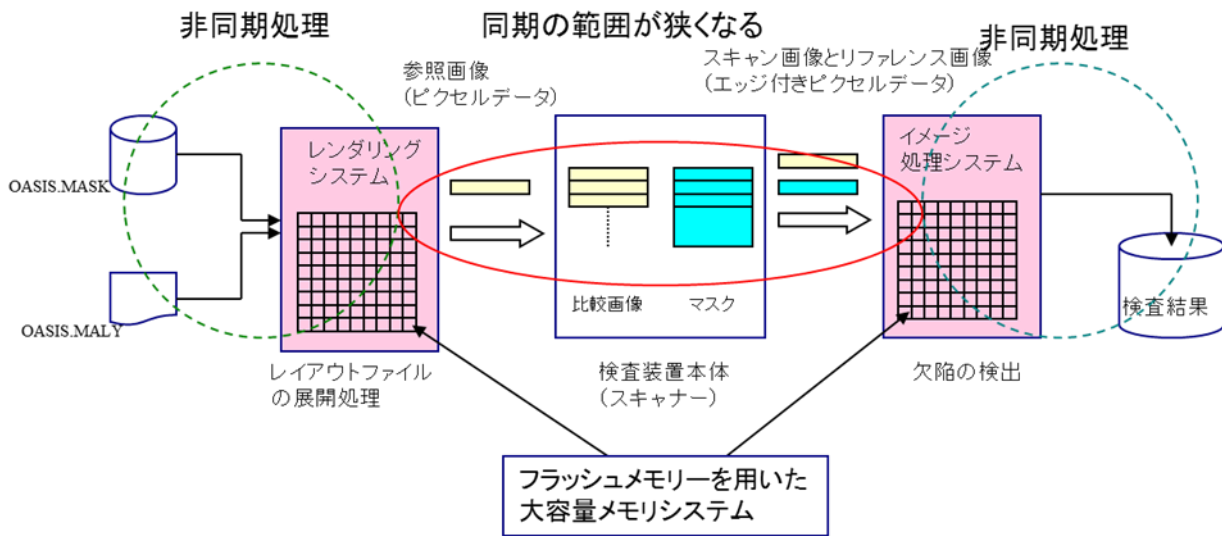


図 2-7：大容量フラッシュメモリ・システムを組み込んだマスク DB 欠陥検査装置

このシステムの特徴はスキャナの前後に大容量のメモリ・バッファシステムを設置することにより、レンダリングシステム、スキャナ、イメージコンピュータをそれぞれ、非同機に動かすことができる。

その動かし方は、最初に参照データを生成するためのデータ変換を開始し、その数十分後にスキャナが検査を開始し、さらに少し時間をおいてイメージコンピュータが欠陥を検出するための処理を開始するような動かし方が可能である。

あるいは、完全に非同期な動かし方として、先ず、前段のレンダリングシステム内のメモリバッファに、参照用データを保存し、全ての保存が終わった後に、スキャナがスキャンを開始し、スキャン画像と参照用データの全てを後段のイメージ処理システム内のメモリ・バッファシステムに保存する。そしてスキャナの動作が終了した後に、イメージコンピュータがそれらの画像を使って、欠陥を検出するという、完全非同期の動作も可能である。

ここで、レンダリングシステム内のメモリバッファとか、イメージ処理システム内のメモリバッファと記述しているが、それは必ずしも物理的に内包されている状態を言っているのではない。レンダリング機能の配下にあるメモリ・バッファシステム、イメージコンピュータの配下にあるメモリ・バッファシステムを指す。

2-3-3. 大容量メモリ・バッファシステムの実装の研究

過去の研究において、我々は図 3 のような基板上に SD カードのソケットを並べ、SD カードを装着してメモリ・バッファシステムとすることを考案した。

このシステムの特徴は、高い自由度のメモリシステムを構築することができることにある。メモリ容量は、装着する SD カードの数とそれぞれの SD カードの容量によって決まり、さらに基板の数を増やすことによって、理論的には無限の容量を持ったメモリシステムを構築することができる。

また、メモリシステムの読み書きの速度は、SD カードの規格が大きくなるに連れて早くすることが

でき、さらに8枚のSDカードに1ビットずつ読み書きをすることで、1バイトとして扱うなど並列化の工夫でさらに読み書きの速度を速くすることも可能である。

しかし、そのために基板となるボードを最初から設計してゆかなければならず、多くの時間と資金を必要とすることが判ってきた。

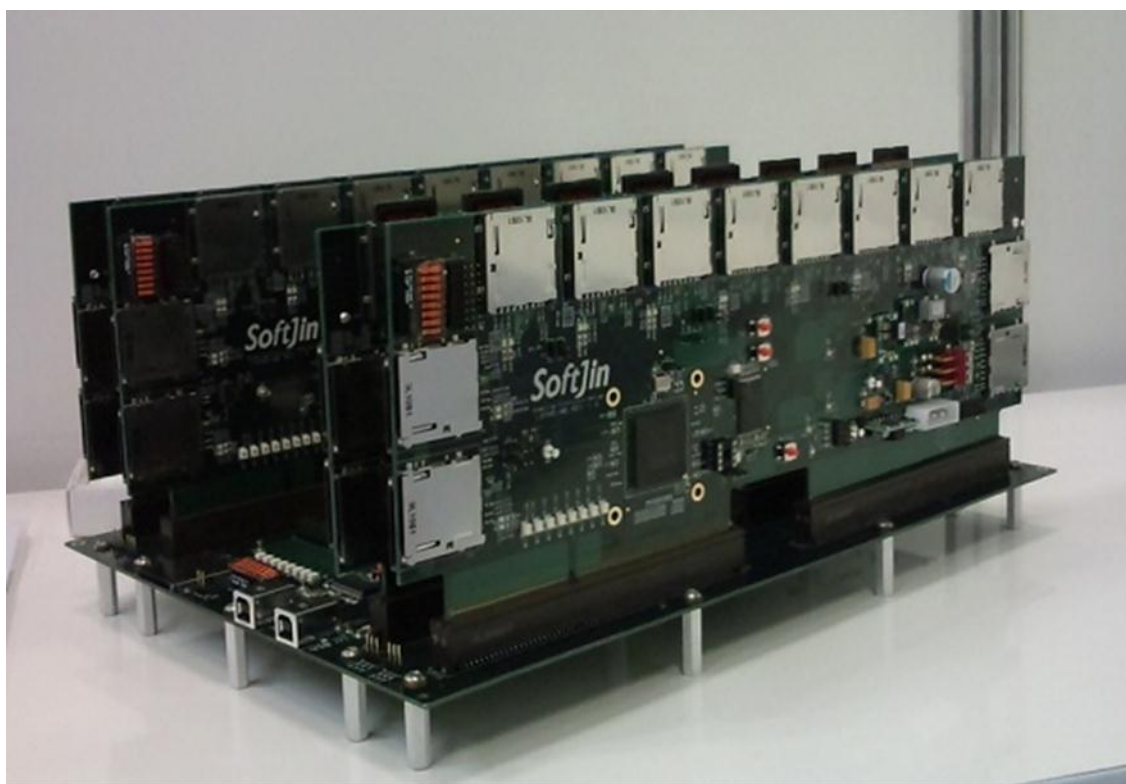


図 2-8：SDカードを使用したメモリ・バッファシステム

特に資金の調達の問題は大きかったので、市販のシステムで同じような機能を果たすことができる物が無いかを調査した。

その結果、図4に示す、固定式のフラッシュ・メモリカードが該当する可能性があるとして検討した。



図 2-9：市販のメモリドライブカード

このドライブは通常の個体ディスクドライブとしてファイルの保存読み出しに使えるほか、メモリ番地を指定してダイレクトアクセスすることが可能である。

この性質を利用してメモリシステムとして活用できないか検討した。

その結果、当面の間、パワーデバイスを対象とした解像度0.25 μm ピクセルの検査装置用途なの

で、容量上の問題は生じないと判断した。

その根拠として、メモリ・バッファシステムに対する要求スペックを表3の様に算出した。

	Category	Item	Value	Unit	#	Expression
Specifications to the Inspection System.	for Inspection Speed	Inspection Time	60.000	min	(1)	
			3,600.000	sec	(2)	(1)x60
		Inspection Area X	100.000	mm	(3)	
		Inspection Area Y	100.000	mm	(4)	
		Inspection Area X	100,000.000	um	(5)	(3)x1000
		Inspection Area Y	100,000.000	um	(6)	(4)x1000
	for Memory size	Inspection Area X	6	inch	(7)	
		Inspection Area Y	6	inch	(8)	
		Inspection Area X	152,400.000	um	(9)	(7)x2.54x10x1000
		Inspection Area Y	152,400.000	um	(10)	(8)x2.54x10x1000
Calculations to meet above specifications	Stream Constraints	Minimum Pixel size	0.250	um	(11)	
		Stream height	1,024	pixels	(12)	
		Stream height	256.000	um	(13)	(11)/(12)
		Max. Frame overlap pixels (Y)	512.000	pixels	(14)	
		Max. Frame overlap ratio (Y)	0.500		(15)	(14)/(12)
		Max. Stream Numbers	892.969	streams	(16)	(10)/(13)+((10)/(13))*((15))
		Appro. Stream Numbers	900	streams	(17)	
		MEMORY SIZE	561,807,360.000	Byte	(18)	(9)/11*1024*(17)
		Appro. Memory SIZE	600	Gbyte	(19)	
		Required Memory Volume for each Image	640GByte Board			
	Band Width for spec. of Inspection Speed	Stream Numbers for 100mm Height	586	streams	(20)	(6)/(13)+((6)/(13))*((15))
		Data volume for each stream	409,600.000	Byte	(21)	((5)/(11))*((12))
		time for one stream	6.144	sec	(22)	(2)/(20)
		Band Width	66,666,666.667	Byte	(23)	(21)/(22)
	Required transfer	Band Width	100MByte/sec			

表3：メモリ・バッファシステムに要求される性能（計算値）

また、この PC ボードに市販のメモ리카ードを装着してメモリ・バッファシステムとして使用する場合はシステム間の連携は図6のようなイメージになる。

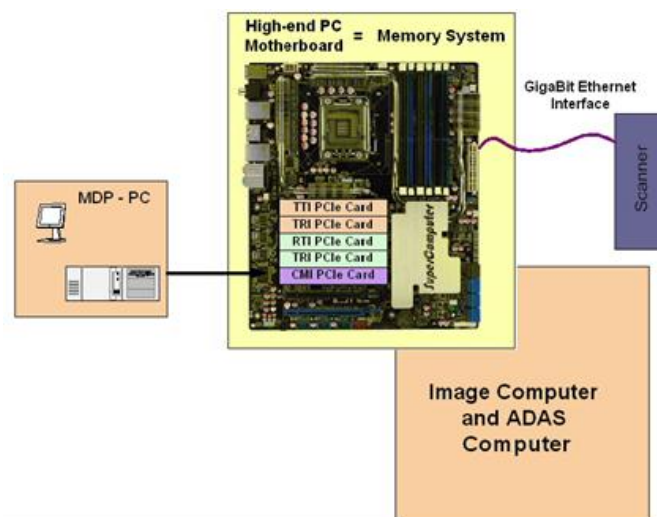


図6：メモリ・バッファシステムと周辺装置との繋がり

2-4. 検査仕様情報に基づいた、自動制御検査ステージの開発

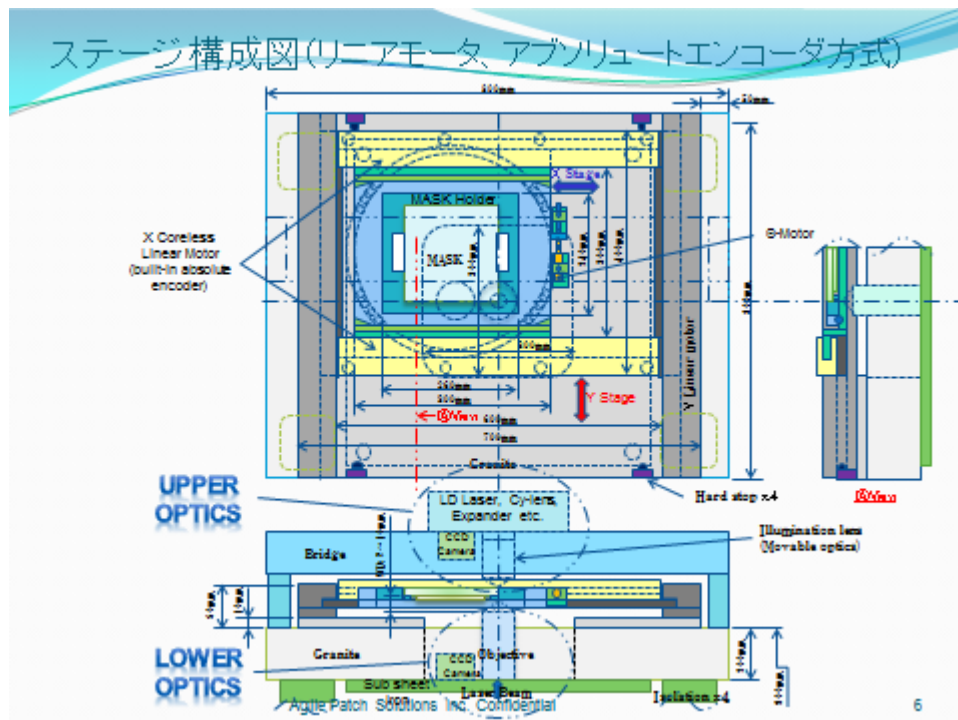
2-4-1. ステージについて X Yステージの目的と役割

X 軸（左右）方向と Y 軸（縦）方向に動く位置決めステージのこと。

任意の場所へ位置決めを行う。産業用ロボットや半導体製造/検査装置などの位置決めを使用される。

主要構成

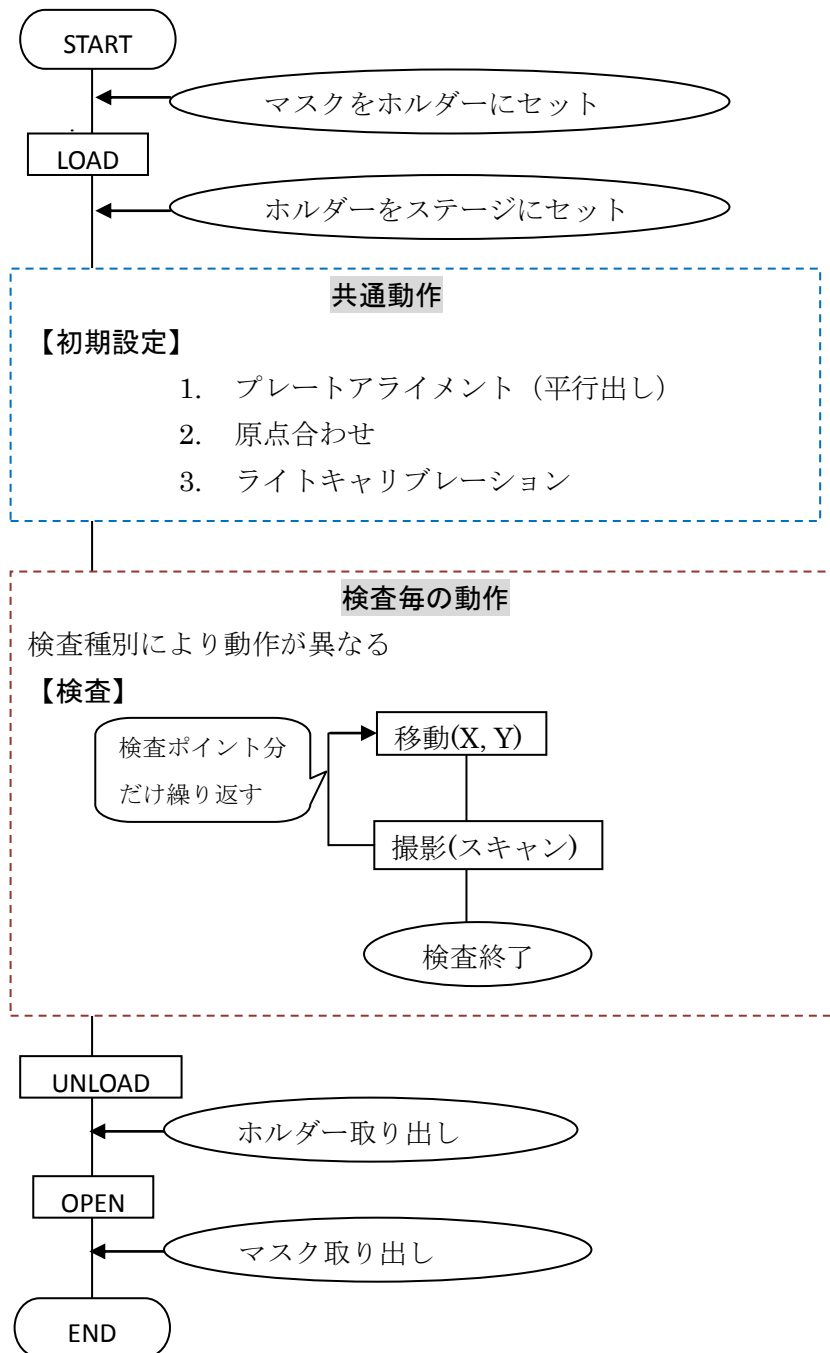
- ① ステージのベースとなる石定盤（グラナイト）
- ② X、Y 軸を駆動させるリニアモータ
- ③ リニアモータを制御するドライバー、サーボボード
- ④ ステージの位置を決定するリニアエンコーダ
- ⑤ X ステージ内に θ ステージ内蔵（アライメント補正のため）
- ⑥ ステージの原点位置（ホームセンサー）や限界位置（リミットセンサー）の設定
- ⑦ 振動を抑えるアクティブ除振システム



*最終的には光学系を組み込んで一体化する。ステージの制御系、画像処理系などが複雑に絡みあうため、調整とタイミングを取る必要がある。

3種類の検査を同じステージで行うことを踏まえ、最初は CD 測定の検査機の開発を行った。撮影するセンサ(カメラ)を 2 種類搭載することにより、あらゆる検査条件をも網羅出来るよう設計した。但し、操作するオペレータは 2 種類のセンサのことを意識せずに検査の操作を行える。

2-4-2. 基本的な検査の流れ



2-4-3. 共通する動作の研究

① プレートアライメント

ステージに置かれたマスクの角度のズレを修正し、“平行”を出す。

② スタートポイント(原点合わせ)

マスクの原点(座標値(0, 0))の設定

スタートポイント(原点)の設定

③ ライトキャリブレーション

光度の調整

④ステージ制御の自動化

2-5. 光学系の開発

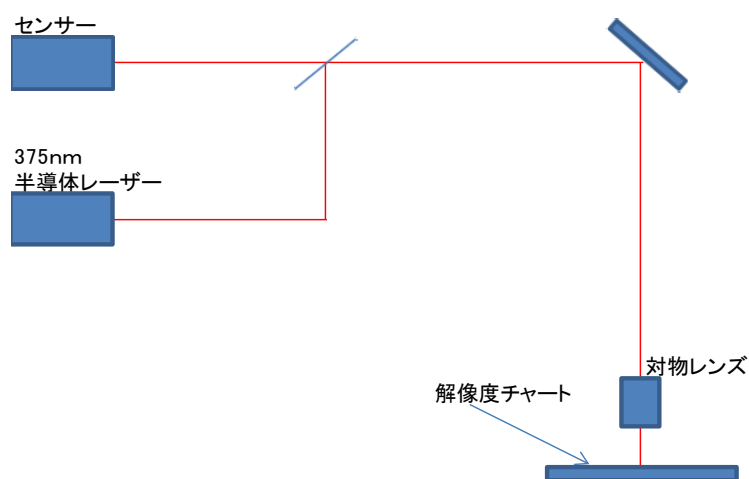
2-5-1. 開発の背景と概要

現在、弊社では、フォトマスク検査装置（最少検査線幅 $1\mu\text{m}$ ）用の光源として、半導体レーザー（波長 375nm ）の採用を検討している。

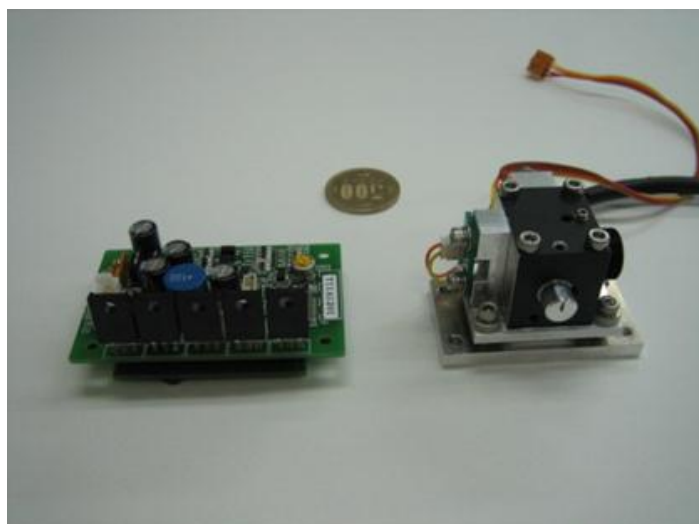
今年度は、試作メーカーの協力の基、同半導体レーザーによる、画像評価を行った。

評価は、評価用の光学系を用い、硝子基板に、 $1\sim 5\mu\text{m}$ 幅のクロムラインが入った解像度チャートに、レーザーを照射して、検査倍率と同じ、50 倍の対物レンズで、チャートの反射画像を取得した。

評価用光学系概要

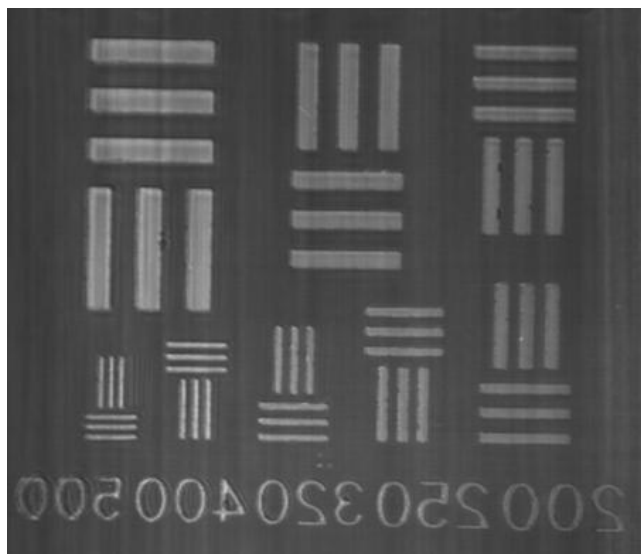


実際に試作した、半導体レーザー（日亜化学製 NDU7212E）ユニットと制御回路



結果

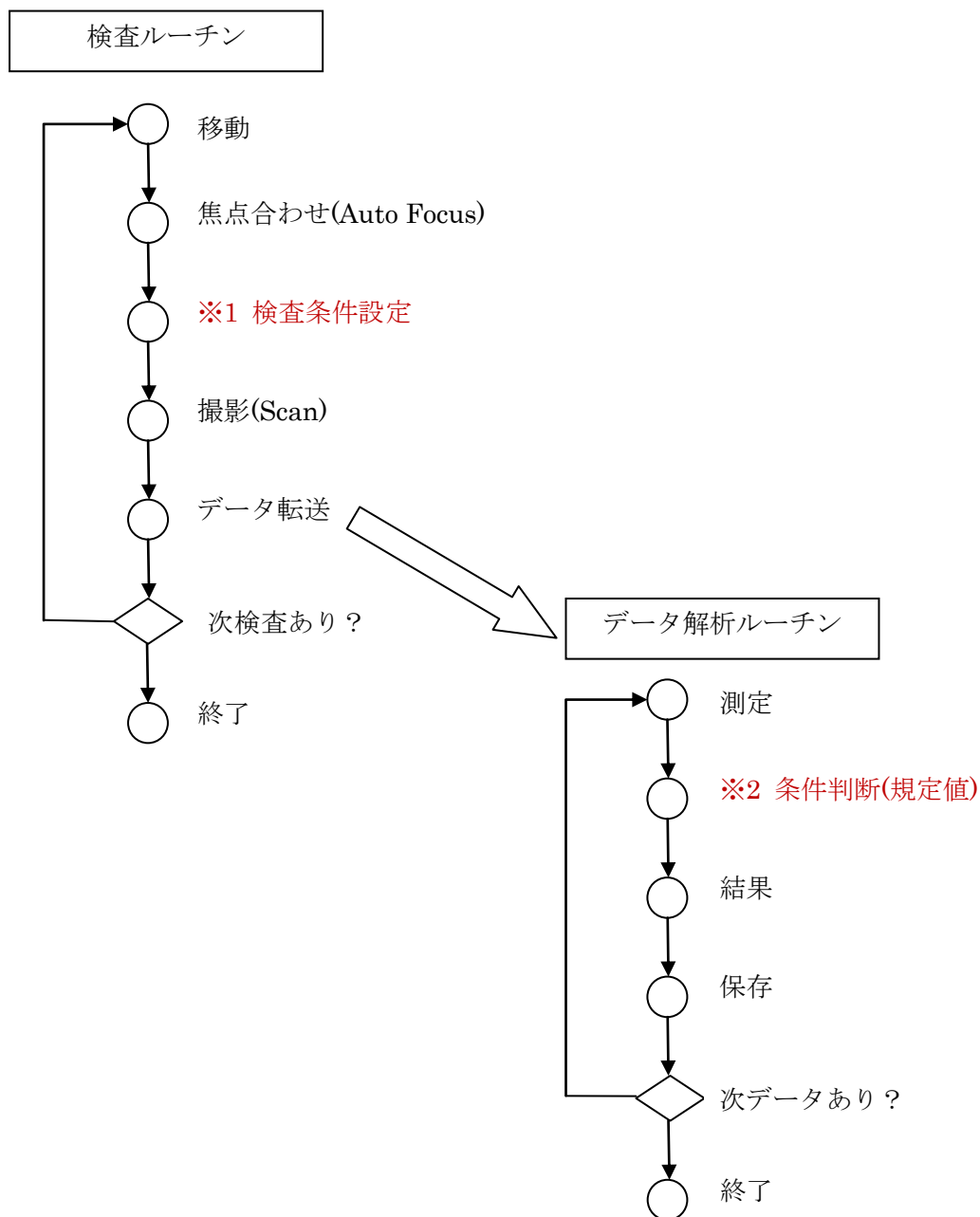
取得した反射画像



最少ライン ($1\mu\text{m}$) が、解像していることを確認した。

2-6. 制御ソフトの開発

2-6-1. 検査の流れ(初期設定後)



※1 検査条件設定

撮影条件：[透過/反射]

スキャナー(カメラ)の種類[TDI/CCD] 測定線幅により、センサーを切り替える。

※2 条件判断(規定値)

設計図上の線幅。規定値±xで結果の合否が決まる。

2-6-2. CD 測定装置向け検査制御ソフトの開発

CD 測定とは？

CD(critical dimension)測定 パターン寸法測定

パターン寸法精度とはマスクパターンと設計パターンの幾何学的形状誤差のことであり、通常 CD あるいは CD 誤差と呼ばれている。リソグラフィ技術において、技術上の管理すべきパターン寸法は、最少パターン寸法を中心に議論されている。そのため、パターン寸法のことを CD(critical dimension)と呼んでいる。

材料も含めて CD に影響するマスク製造工程には塗布、描画、現像、アッシャ、エッチングなどがある。

品質仕様としてはマスク内の面内 CD 均一性(CD uniformity)、マスク画内 CD の平均値の設計寸法からの誤差、すなわち中心値ずれ (mean to target)、およびパターン寸法誤差の設計寸法依存性である CD リニアリティ(CD linearity)に分けて議論される。

正確な線幅を測るためには高品質な撮影画像が求められる。

測定する内容

- X 方向線幅
- Y 方向線幅
- 任意の角度の斜め線(any angle)の線幅
- ピンホール(穴)
- 複数線の測定

※ 線幅は 400 μ m まで測長可能とする。

2-7. 欠陥検査用画像処理ソフトの開発

欠陥検査装置の仕組みの基本はスキャナとレンダリングシステムから送られてきたテスト画像と参照画像を比較して、違いをみつけだすことにある。違いを見つけ出すためには前段として、比較する二つの画像同士の位置合わせ、即ちアライメントを行い、その後に検出アルゴリズムを走らせて欠陥を検出する。

2-7-1. システム構成と処理時間

仮想的なシステムを想定して画像処理に費やすことができる時間を評価した。

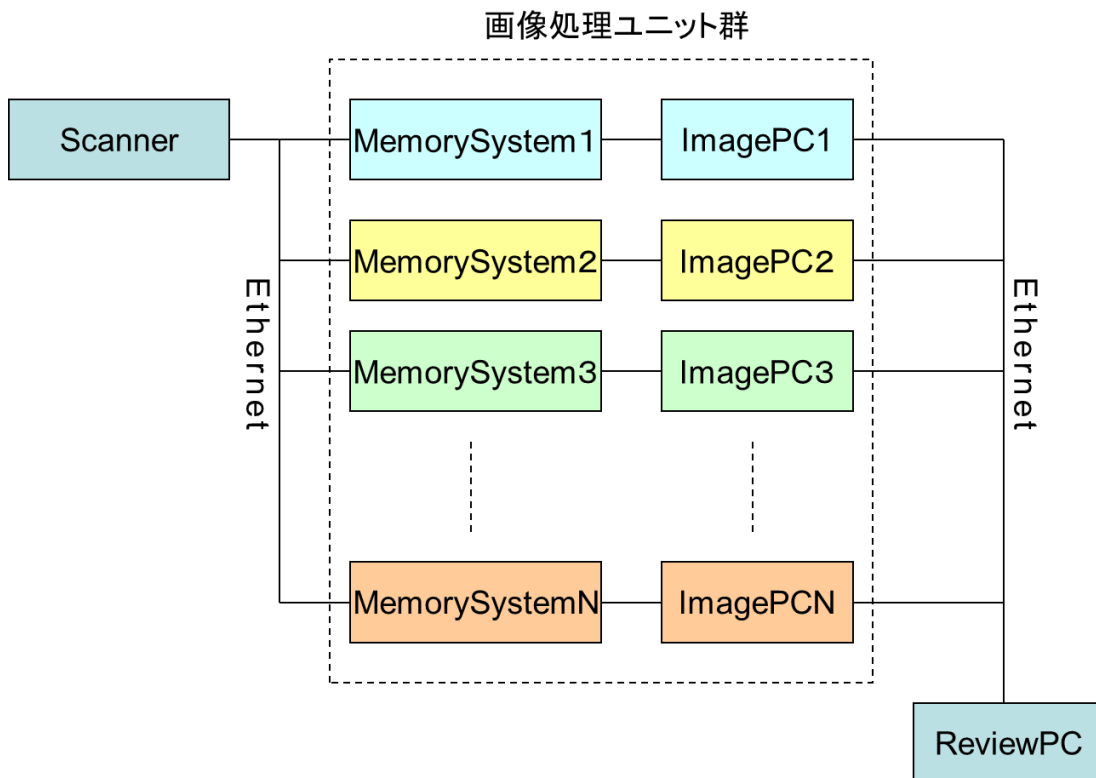


図 7. 仮想画像処理システム

図 7 のように複数のメモリバッファとそれに直結したイメージコンピュータを想定した。

これは、前述の大容量メモリ・バッファシステムを導入して、採取画像を一括して保存する方式ではなく、従来の他社の欠陥検査装置に見られるような仕組みである。

本来は、大容量メモリ・バッファシステムの使用を前提にシステムスペックを算出するべきであるが、未だ本格的な装置の実例がないので、確度の高い計算方法が確立されていない。

そこで、構造上、より早い処理速度が要求される従来型の画像処理システムユニット群を仮定して計算と設計を進めた。

図 8 は図 7 の画像処理システムを仮定した上で画像処理ユニットが 5 つのケースを想定してそれぞれのユニットで利用できる処理時間を算出したものである。

タイミングチャート(画像処理ユニットが5つのケース)

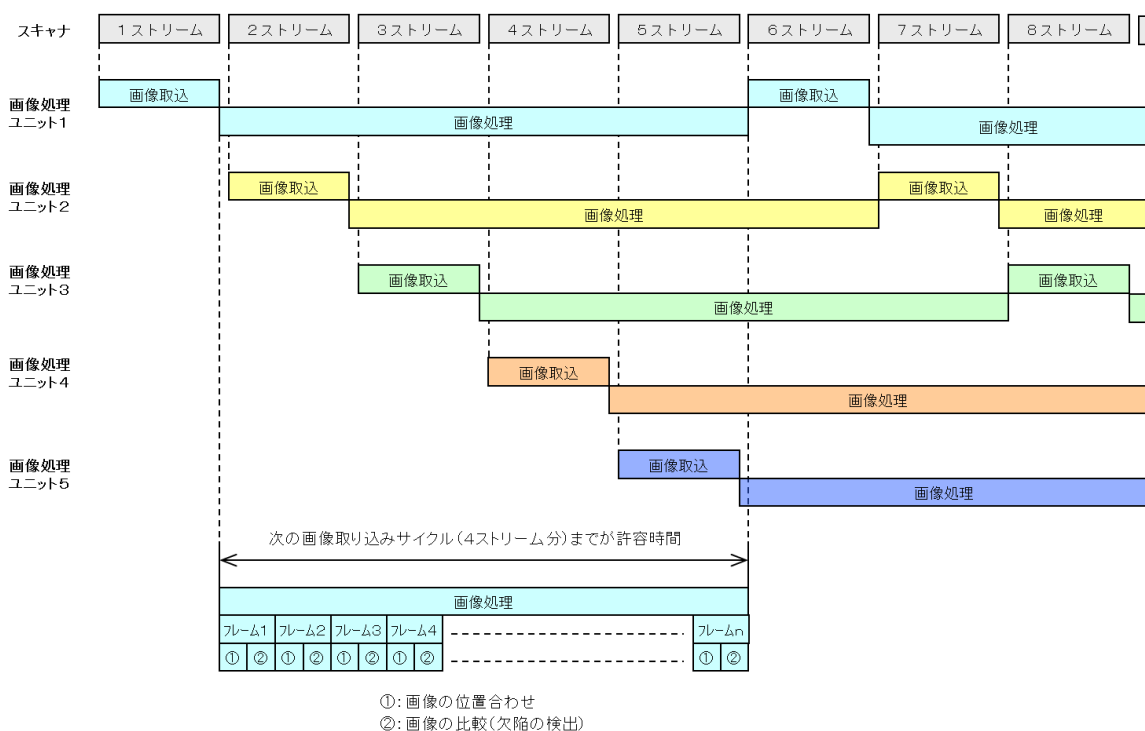


図8：画像処理ユニットの処理時間の算出

ここで検査時間と処理時間の関係を

- ①ストリームの距離 (μm)
- ②走査分解能 (μm)
- ③フレームのサイズ X (pixel)
- ④フレームのサイズ Y (pixel)
- ⑤画像処理により発生するフレーム単位の無効画素数 X (pixel)
- ⑥画像処理により発生するフレーム単位の無効画素数 Y (pixel)
- ⑦画像処理ユニット数
- ⑧検査目標時間 (sec)
- ⑩ストリーム数 : $\frac{①}{② * (④ - ⑥ * 2)}$
- ⑪1ストリームの許容時間 (sec) : $\frac{⑧}{⑩ * ((⑩ - ⑦) / ⑩)}$
- ⑫1ストリーム画像処理ユニット許容時間 (sec) : $⑪ * (⑦ - 1)$
- ⑬1ストリームのフレーム数 : $\frac{①}{② * (③ - ⑤ * 2)}$
- ⑭1フレーム画像処理ユニット許容時間 (sec) : $\frac{⑫}{⑬}$

と定義すると、それぞれの値は表4のようになる。

(例1)

①	ストリーム距離(μm)	100000
②	走査分解能(μm)	0.25
③	フレームサイズX(pixel)	1024
④	フレームサイズY(pixel)	1024
⑤	無効画素数X(pixel)	12
⑥	無効画素数Y(pixel)	12
⑦	画像処理ユニット数	16
⑧	検査目標時間(sec)	3600
⑩	ストリーム数	400
⑪	1ストリーム時間(sec)	8.64
⑫	1ストリーム画像処理ユニット時間(sec)	129.6
⑬	1ストリームのフレーム数	400
⑭	1フレーム画像処理ユニット時間(sec)	0.324

(例2)

①	ストリーム距離(μm)	100000
②	走査分解能(μm)	0.25
③	フレームサイズX(pixel)	512
④	フレームサイズY(pixel)	512
⑤	無効画素数X(pixel)	12
⑥	無効画素数Y(pixel)	12
⑦	画像処理ユニット数	32
⑧	検査目標時間(sec)	3600
⑩	ストリーム数	820
⑪	1ストリーム時間(sec)	4.219
⑫	1ストリーム画像処理ユニット時間(sec)	130.786
⑬	1ストリームのフレーム数	820
⑭	1フレーム画像処理ユニット時間(sec)	0.159

表 4 : 検査時間と処理時間の関係

ここで、例1は画像処理の領域を表すフレームサイズが $x/y = 1024/1024$ (Pixel) の場合であり、例2は画像処理の領域を表すフレームサイズが $x/y = 512/512$ (Pixel) の場合である。

この表における最も重要な結論は⑭の画像処理ユニットが1フレームを処理するために使用できる時間の長さである。

ここで、ダイ比較検査を例にフレームとストリームの関係を図示すると図9のようになる。これはダイ比較検査の例であるが、DB検査の場合は片方の領域が同一のフレーム上の画像データではなく、レンダリングシステムから送られてくる参照データになるが、基本的な関係は同じである。

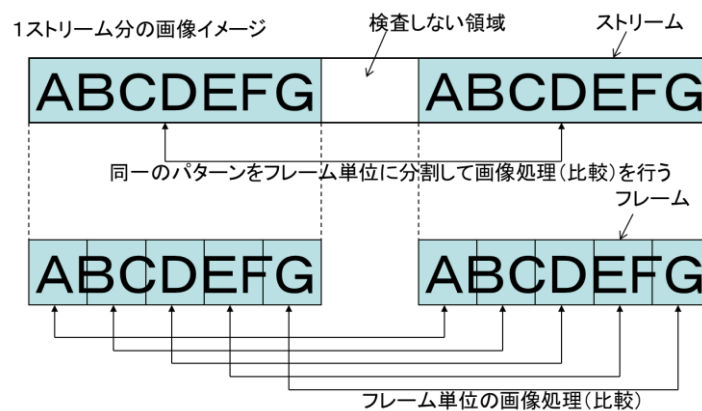


図 9 : ストリームの中のフレーム同士の画像比較のイメージ

2-7-2. フレーム単位の画像処理（比較）概要

「検査時間と処理時間の関係」からわかるように1フレームに対する許容時間が非常に短いため高速に画像処理を行う必要がある

図10は画像処理の流れを概念的に表示したものである。

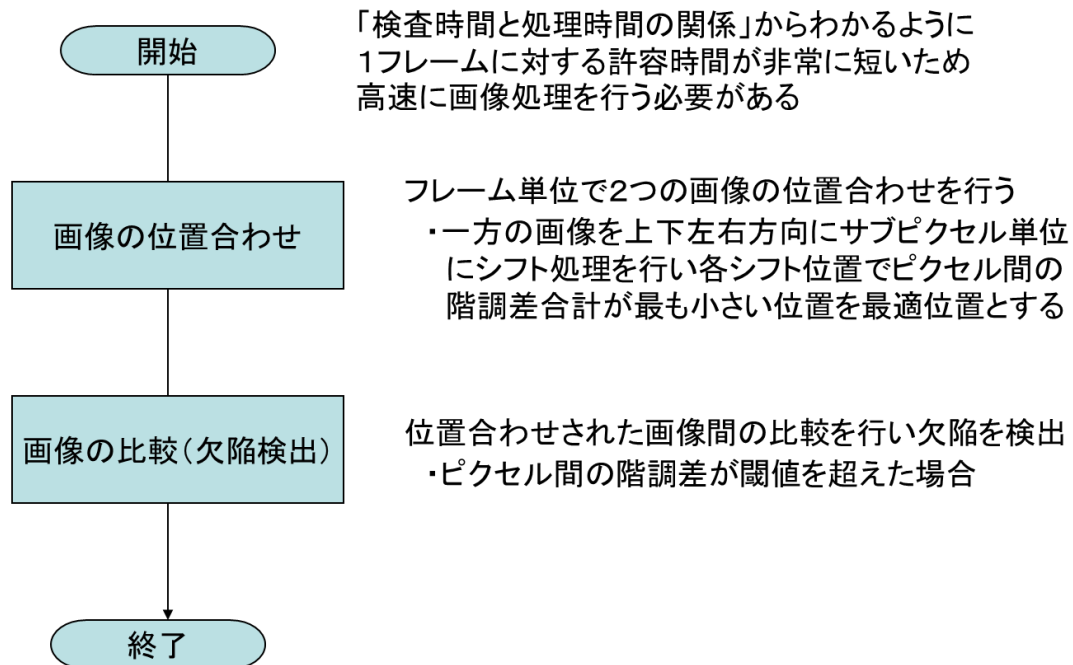


図10：画像処理の大まかな流れ

2-7-3. 画像の位置合わせ処理（フレーム単位）の概要

フレーム単位の画像の位置合わせ（アライメント）の処理のフローを図11のように考えた。このフローの特徴は「プロジェクション型」と言う処理時間が短い位置合わせを行い、その位置合わせに失敗した場合には原所点を中心とした位置合わせを行う方法である。

このように2段階の位置合わせ方法を導入することにより、1ストリームを処理する場合の、全処理時間に占める位置合わせに費やす時間のトータルを削減できる。

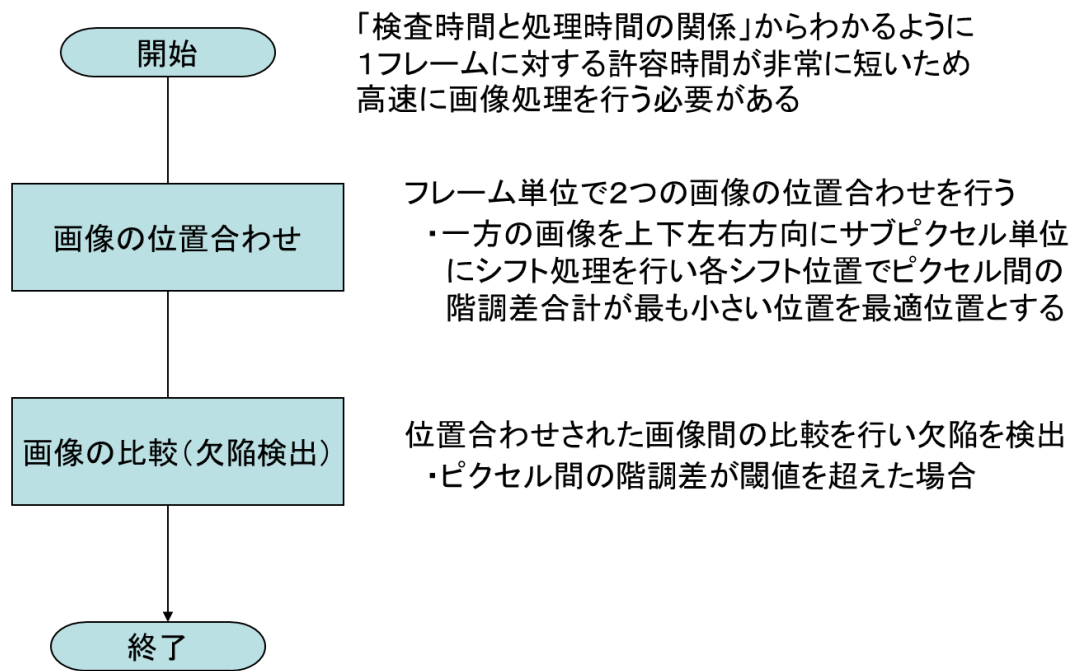


図 1 1 : 位置合わせ（アライメント）処理のフロー

2-8. 欠陥自動分類ソフトの導入の検討

画像処理ソフトにより検出された欠陥情報と欠陥部分の画像は検査装置に付属するハードディスク・ドライブ内に検査情報ファイルとグループ化されて検査結果ファイルとして保存される。一枚のフォトマスク上に多数の欠陥が検出された場合には、一つの検査結果ファイルに多数の欠陥情報とその欠陥の画像ファイルが収納されることになる。

従来の検査装置ではオペレータが検査結果ファイルを開いて、検出された欠陥の一つ一つを目で確認しながら、その欠陥が有意欠陥であるのか、あるいは無視しても良いのかを判定していた。この分類作業のことを一般的にはクラッシュファイ（classify）という用語で呼んでいる。

検出された欠陥の数が多数の場合にはクラッシュファイの作業時間が長くなり、検査時間と検査コスト増加の原因の一つになっている。

当研究で開発する装置はもちろん、欠陥検査装置の中の一つになる予定であるので最初から装置の機能の一つとして使用することを検討した。

第3章 開発成果のまとめ

3-1. 複数年の研究開発成果

当研究開発は平成22年度採択で、平成23年度と合わせて2年間の期間で開発を行った。この期間の成果は下記のとおりである。

3-1-1. 検査レシピファイル生成システム

フォトマスクパターンビューワ上でフォトマスクのレイアウト画面を表示させながら検査の方法を指示してゆくと SEMI の P10 規格に準拠した検査レシピファイルを生成するプログラムである。

このレシピファイルを当研究で開発する装置で読み取り、検査セットアップが自動で行える仕組みになっている。

なお、レシピファイルのフォーマットは SEMI の P10 規格に準拠したファイルを読み取れる装置であれば同様に自動化処理ができるように配慮した。

3-1-2. 検査装置オペレーションプログラム

検査装置本体のオペレーションプログラムを開発した。Windows 上で動作するプログラムで、過去の同様の装置の研究や、研究開発推進委員会の構成メンバーであるフォトマスク・メーカーからの委員の意見を取り入れて現場で使いやすいインターフェースの開発を行った。

3-1-3. 検査装置制御プログラム

検査装置本体の制御プログラムの基本設計を行った。

検査装置本体の主な構成はXYステージと光学系である。実際の部品の発注を行うところまで至らなかったため、仮定の装置を想定してそれを制御するプログラムの機能とフローの設計を行った。

3-1-4. DB欠陥検査用リファレンス・データ生成プログラム

データベース欠陥検査（DB検査）において、設計データ若しくは描画データから検査用の参照データを非圧縮ビットマップデータとして変換生成するプログラムの開発を行い、サンプルデータを使っての変換時間の評価を行った。

3-1-5. 画像処理用大容量メモリ・バッファシステム

欠陥検査においてスキャナから送られてくる検査エリア全面の画像データ（透過画像、反射画像）とその比較参照画像データ（透過画像、反射画像）、DB検査においては比較参照画像データ生成の基になるデータを一時的に保存しておく。

3-1-6. 検査画像処理プログラム

上記のメモリ・バッファシステムに保存された画像を切り出して、画像の位置あわせを行い、欠陥を検出するプログラムの開発を行った。

3-1-7. 欠陥自動分類プログラム

検出された欠陥画像と欠陥情報から自動的に分類作業を行う市販ソフトウェアを検査装置に組み込むための技術的な検討並び同ソフトウェアの製造元との交渉を進めた。

3-2. 研究開発後の課題・事業展開

装置を完成させるには資金調達が必須である。残念ながら半導体業界に分類される当事業はこの2年間の間、資金調達の問題が常に最大の障害となってきた。

今後は研究開発結果を事業化に繋げるために、国内・国外の有力事業会社と提携し、海外の販売権等を譲渡する代わりに、資金面と技術面で援助を仰ぐなどの提携構築を進めて行ゆく。