

平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業  
面測定による膜厚分布評価装置の研究開発

研究開発成果等報告書

平成 22 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 浜松メトリックス株式会社

## 目次

### 第 1 章 研究開発の概要

1-1	研究開発の概要（背景・研究目的及び目標）	3
1-1-1	研究の目的	
1-1-2	研究の背景	4
1-1-3	研究目的および目標	
1-2	研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	5
1-3	成果概要	6

### 第 2 章 本論 研究開発内容

2-1	開発目的	6
2-2	光干渉による膜厚差の測定原理	7
2-2-1	基本測定原理	7
2-2-2	本方式の長所	8
2-2-3	本方式の課題	9
2-3	構造	9
2-3-1	光学系、駆動系	10
2-3-2	電気系ブロック図（回路図）	11
2-3-3	膜厚測定器	11
2-4-1	計算手法	13
2-4-2	膜厚差と色空間との関係について	14
2-4-3	膜厚検査速度について	14
2-4-4	H社製膜厚計単体での測定例	14
2-5	被検査ワークについて	15
2-6	静岡大学報告書	16
2-6-1	概要	16
2-6-2	評価手順	16
2-6-3	評価結果	16
2-6-4	考察	20

### 第 3 章 全体総括

## 第1章 研究開発の概要

液晶表示装置に代表される FPD は 1980 年代後半から著しい成長を遂げ、現在大小併せて 5 億枚 10 兆円を超える市場に成長してきた。(日経 B P、Display Serch、富士キメラ総研など) この急成長は、パネル部材の生産方式や材料を種々工夫し、機能向上と大幅なコスト低減に努力した結果である。液晶表示装置の例では、偏光フィルタ、ガラス基板、ITO 膜、視野角拡大や保護膜等、様々なフィルム等、で構成され、更なる部材の機能向上、品質の向上、生産性向上などで改善すべき課題は多い。その中で基材の物理特性向上は重要で、特に、基材に施される均一な表面処理や塗布プロセスの改善は極めて重要で、生産工程でしばしば処理ムラ、塗布ムラなど、数 nm～数十 nm の膜厚ムラとなり出現する。従来フィルムやガラス等、膜厚分布評価を行うには、スポット膜厚計で多点の計測を行うのが一般的で、広面積の評価は、測定点間の膜厚変動は見逃され、測定点を増やせば精度は上がるが計測時間は膨大で、顕微鏡等、高倍率で実像観測評価まで試みれば、別ステージを用意し観測するしかなく、あまりにも実用的ではなく新手法の研究開発が急がれる現状がある。

本研究開発では、新たに RGB 色情報を高分解能高精度で取得するカラー1次元センサカメラを膜厚計測用の標準低倍率、実像観測評価用の高倍率 2 光学系で構成し、これを高精度スキャナ機構に搭載し、膜厚変動で発生する光干渉の微細な色差を「色空間評価法」により精密に面測定すれば A3 サイズで従来数時間を要した計測評価が低分解能で 14 秒、高倍率で 5 分程度、膜厚分解能 1nm の精密高速で可能となる。更に、この計測を高精度で実施する目的で、面全域±5 $\mu$ m の平面を保証でき確実に載物固定する多孔質載物機構、及びリニアモーター高精度 2 次元スキャナを開発する。

本研究開発により「面測定による膜厚分布評価」が高速で行え、広域面を顕微鏡レベルの高倍率で実像観測、及び自動評価が見落としなく可能となる。この手法は FPD 分野に限らず半導体ウエハ表面膜厚計測を初めとし数々の膜厚分布評価が、従来にない高速で 1nm 膜厚分解能で実施できる。

### 1-1-1 研究の目的

従来膜厚分布評価は一般的にスポット膜厚計で多点計測を行う、という方法がとられてきたが、この方法の場合測定点間の変動は見逃され、かといって計測点を増やせば計測時間が膨大にかかる、という問題があった。本研究開発はカラー1次元センサカメラを搭載し、膜厚変動で発生する光干渉の色差を色空間評価法で解析し面の膜厚分布評価を高速で可能とする。また 100 $\mu$ m 分解能標準光学系に加え、5 $\mu$ m 分解能高倍率光学系で細部まで評価観測できるようにする。これにより膜厚分解能 1nm、A3 サイズ換算で標準 15 秒、高倍率 5 分で評価できる膜厚分布評価装置を開発する。

### 1-1-2 研究の背景

液晶ディスプレイに代表される FPD に使用される偏光フィルタ、ガラス基板、ITO 膜、視野角拡大フィルム、保護膜等では更なる部材の機能向上、品質の向上、生産性向上など改善すべき課題は多い。その中で基材の物理特性向上は重要で、特に基材に施される均一な表面処理や塗布加工プロセスの改善は極めて重要で、生産工程でしばしば処理ムラ、塗布ムラなど、数 nm～数十 nm の膜厚ムラとなり出現する。従来フィルムやガラスなどで膜厚分布評価を行うには、スポット膜厚計で多点の計測を行うのが一般的で、広面積のフィルムやガラスの評価は、測定点間の膜厚変動は見逃され測定点を増やせば評価精度は上がるが、スポット膜厚計の移動時間を含む計測時間は、総合し数時間と膨大となり、顕微鏡同等の高倍率での実像観測評価まで試みれば、別ステージを用意し観測するしかなく実用的でもなく新手法の研究開発が急がれてきた。

本研究開発では、新たに RGB 色情報を、高分解能高精度で取得するカラー 1 次元センサカメラを、膜厚計測用の低倍率、実像観測評価用の高倍率の 2 つの光学系で構成し、これらを高精度スキャナ機構上に搭載し、膜厚変動で発生する光干渉の微細な色差を、色空間評価法により精密に、面測定による膜厚分布評価を行うことで、A3 サイズ換算で総合従来数時間を要した計測評価が 100  $\mu$  m 分解能で 14 秒、5  $\mu$  m 分解能を 5 分程度で終了することを目標とする。

### 1-1-3 研究目的および目標

#### ① 光干渉による膜厚差の測定（実施：浜松メトリックス（株））

製作した膜厚分布評価装置の低倍率光学系で撮像した画像から、膜厚値を推定する手法を考案する。

膜厚計 C10178-01 を使い、実測値と比較し、相関を評価する。

#### ② カラー 1 次元センサカメラによる面測定（実施：浜松メトリックス（株））

製作した膜厚分布評価装置で撮像を行い、低倍率光学系で膜厚分布評価に使うにあたって予定性能が出ているかどうかを確認する。

また、高倍率光学系で問題になるレンズ解像度、機構部振動、カメラ性能についての評価を行い、実用化上の問題を確認する。

#### ③ 高精度、高剛性の測定装置の開発（実施：浜松メトリックス株式会社）

高精度を求める膜厚計測を行うため、これに使用する 1 次元光学系を、振動なく安定に駆動するリニアモータ方式スキャナとし、高剛性で精密な機構を開発する。機構部は、協力メーカ M $\alpha$  技研と打ち合わせを行い、設計を進めて製作を行う。

光学部、制御部の設計、及び機構部を制御し、撮像する制御ソフトウェアの開発は、浜松メトリックスで行う。

機構部完成後、組立配線等を行ない、測定評価装置として完成させる。

④膜厚分布評価の標準手法開発(実施：静岡大学)

撮像画像から得られた色差情報（膜厚情報）から、分布評価の手法を検討する。

1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

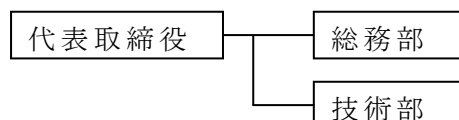
（１）研究組織及び管理体制

1）研究組織（全体）

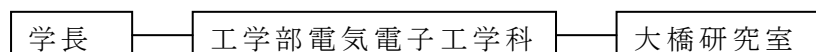
研究実施者 （機関名）	代表者 役職氏名	連絡先	中小企業 者 チェック
浜松メトリックス	代表取締役 一藤 克己	①所在地 〒431-2103 静岡県浜松市新都田1丁目4番 10-10 テクノフロンティア浜松 G1 ②連絡先担当者氏名 総務部 取締役部長 宮城谷 博之 ③電話番号 053-428-8400 ④FAX番号 053-428-8401 ⑤E-mail アドレス miyagitani@metrix.co.jp	○ ◎
国立大学法人 静岡大学	准教授 博士（工学） 大橋 剛介	①所在地 〒432-8561 静岡県浜松市中区城北 3-5-1 ②連絡先担当者氏名 工学部・電気電子工学科 准教授 大橋 剛介 ③電話番号 053-478-1134 ④FAX番号 053-478-1134 ⑤E-mail アドレス tegooha@ipc.shizuoka.ac.jp	

2） 管理体制

浜松メトリックス株式会社



国立大学法人 静岡大学



### 3) 研究者氏名

浜松メトリックス株式会社

氏名	所属・役職
上村宗市	技術部 部長
廣瀬新吾	技術部 技師
劉岩	技術部 技師
松浦知也	技術部 技師

### 1-3 成果概要

今回の装置の開発の最も重要なテーマは、従来のスポット式膜厚計と同様の精度で、1次元カメラを用いてワーク全面を撮像することにより、膜厚を高速で測定、検査をおこなう、ということであったが、この所期の目標をほぼ達成できた。今後さらに様々なワークについて、従来型のスポット式膜厚計と比較しながらデータを集積して、さらに完成度を上げていきたい。

今回の装置のさらに優れた点として、12 インチウエハまで測れるようになった、ということである。この種の一般的な装置としては A4 サイズまでのものが多いが、今回の装置では A3 まで測定が可能である。このため今まで以上に幅広い種類のワークに対応することが可能となった。

さらに今回の装置では超低振動であるため、高倍率のレンズを使っても鮮明な画像が得られることが確認できたので、今後様々な分野での活躍が期待できる。

## 第2章 本論 研究開発内容

### 2-1 開発目的

従来よりおこなわれてきた一般的な膜厚測定法としては多点計測といわれるやり方で、いわゆるピンポイントでおこなわれる測定を多数おこなうことにより、面での測定の肩代わりをさせよう、というものであった。この方法での問題点としては以下のようなことが考えられる。

- ・スポット多点計測であるため膨大な計測時間が掛かる。そのため計測点を減らすか、全数検査を行わずサンプル検査(抜き取り検査)を実施するしかない。
- ・スポット計測のため、測定点間の評価を行わず、結果、欠陥の見落としが生じる。
- ・ムラの評価方法が対象ワーク毎に違っており、都度評価方法を設定している。
- ・微細な欠陥等を検査評価するには、別ステージで高倍率顕微鏡を使わざるを得ない。
- ・X線等の光源を使用する手法では、運用の慎重な安全対策が必要となる。

上記のような課題に対し、本装置では以下に述べるような仕様を設定して、ニーズに答えていけるものを開発する。

- ・計測時間を A3 サイズ換算で数分～数十分と大幅短縮し実用的な評価計測を行いたい。
- ・スポット計測でなく全面フルサーフェスで欠陥見落としが無い計測を行いたい。
- ・ムラの評価方法を統一化し理解しやすく標準化したい。
- ・低倍率（標準評価用）、高倍率（精細評価用）の検査光学系を一体化させ、大きく広域なフィルム内で顕微鏡レベルでの観察を容易に行いたい。  
微細な欠陥、材料変質等の検査を自動で行いたい。
- ・X 線等の光源を使用せず、安全な運用、簡易なメンテナンスを行えるようにしたい

## 2-2 光干渉による膜厚差の測定原理

### 2-2-1 基本測定原理

図 2-2-1 のように表面反射光と裏面反射光（各層反射光）との光路差から 2 光波が干渉を起こし色が発生し、この光学現象を分析し膜厚として計測し装置に実装する。

図 2-2-1 において、表面反射光と裏面反射光の光路長差  $\delta$  は、  
 $\delta = 2 n_2 \cdot d \cdot \cos \theta_2$  で表され、表面反射光と裏面反射光で干渉し強度が最大及び最小になるのは、基板の屈折率が薄膜の屈折率より大きい場合は

$$\delta_{\max} = 2 n_2 \cdot d \cdot \cos \theta_2 = m \lambda \quad (m=1,2,3, \dots) \quad (1)$$

$$\delta_{\min} = 2 n_2 \cdot d \cdot \cos \theta_2 = (m+1/2) \lambda \quad (m=0,1,2, \dots) \quad (2)$$

となる。

簡単な一例として、 $\delta = 1000\text{nm}$ ,  $\theta_2 = 0^\circ$ ,  $m=5$ ,  $n_2=1.45$ (石英) とした時の強め合う波長は  $580\text{nm}$ , 弱め合う波長は  $527\text{nm}$  となる。

このように光路長差により特定の波長が強調されることになり、その波長で感じられる色が認識される。

カメラによる面での膜厚計測も基本原理は上記のことを利用している。

一次元カラーカメラによりワークを撮像すると膜厚差により反射する光の色が違ってくる。その僅かな色の違いを後ほど述べる特徴空間法を用いて解析を行い膜厚を計測する。

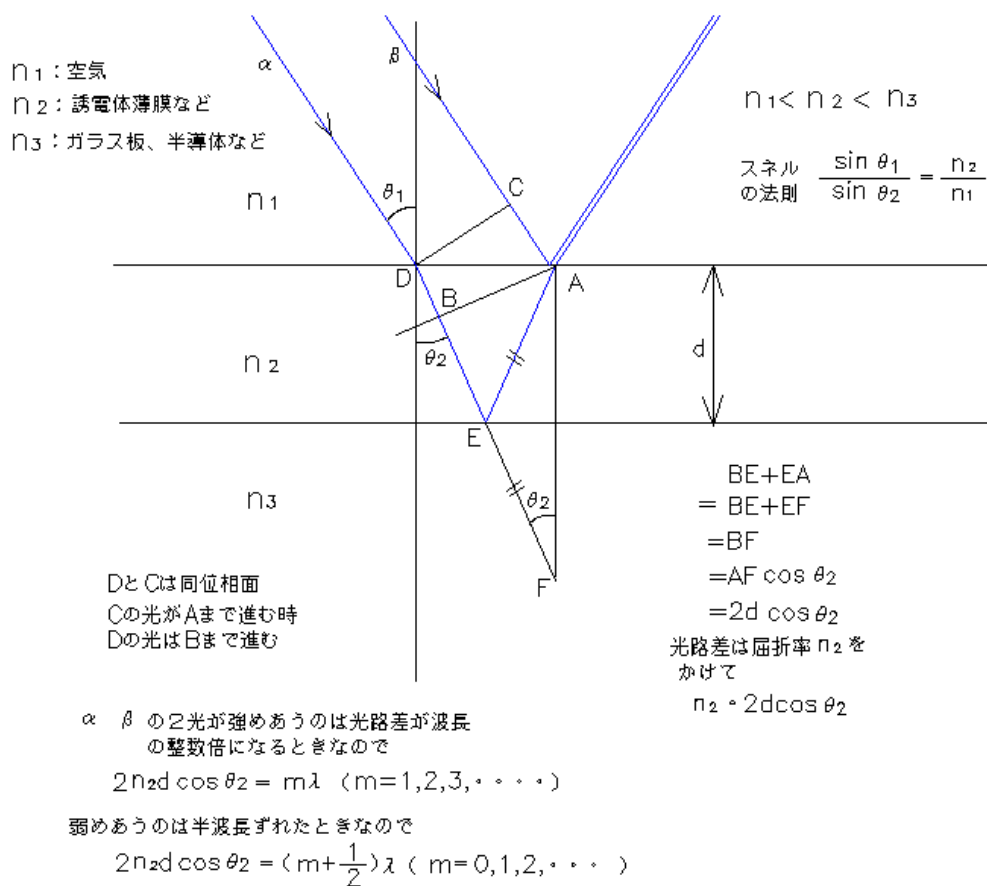


図 2-2-1 薄膜干渉原理図

### 2-2-2 本方式の長所

本方式の利点は以下の通りである。

- ・カラー1次元センサカメラを使用するため面計測が可能で素材表面も同時に観測できる。
- ・スポット多点計測を行わないから計測移動時間が少なく驚くほど高速計測が実現する。
- ・面計測するから多点計測に見られるような点間での欠陥見落としはない。
- ・ $5\mu\text{m}$ の高分解能でも従来以上に高速で、広範囲な顕微鏡的観測評価が行える。
- ・可視光を使用しX線などを使用しないから安全、且つ安価で機器構成が可能となる。

### 2-2-3 本方式の課題

また、本方式は以下のような解決すべき課題を有している。

- ・カメラは分担する波長領域に幅を持つため RGB の値から直ちに、対応する波



長スペクトルを特定することはできない。

- ・膜が厚くなると、いろいろな波長での波の干渉が起こる。すなわち反射光を波長スペクトルで見た場合に周期的に強弱が発生する。そのためたくさんの強調される波長成分を持つようになるため白色光に近づいていく。このため色相差が出にくくなってくる。
- ・高倍率（ $5\mu\text{m}$ ）の光学系を構成する場合、振動が少なく平面度 $\pm 5\mu\text{m}$ 程度の機構開発が必要となる。

上記のような特徴を理解した上で開発を進めていくことになる。

### 2-3 構造



図 2-3 機械全体写真（クリーンブース付）

機械全体は図 2-3 の写真に示してある。機械は主に光学系、軸制御系、リレー回路、PC、膜厚計、変位センサなどで構成されている。図 2-3 の写真において、上部で左右に動く軸が X 軸である。この軸には高倍率のレンズと高分解能のカメラが取り付けられている。写真の中央付近についているものは Y 軸カメラである。

低倍率のマクロレンズが取り付けられている。Y 軸を前後に動かすことにより Y 軸カメラによる広域撮像と X 軸カメラによる高倍率撮像が可能である。

架台の上にはシャフトモータによって動かされる Y 軸が載っておりその上にワ

ーク吸着用のカーボンチャックが載っている。カーボンチャックの直ぐ上には蛍光灯照明が実装されている。

写真を見ても分かるように Y 軸のカメラは傾けて撮像することが出来、最大 40 度傾けることができる。このことにより膜の光路長を変えることができ、膜についてのより多くの情報を得ることができる。

使われている機材の仕様は以下の通りである。

#### 2-3-1 光学系、駆動系

		X 軸	Y 軸（膜厚）
カメラ	画素数	8192×96	2098×3
	画素サイズ	7 (μm)	14×14 (μm)
	素子長	57.344(mm)	29.372(mm)
	駆動クロック	40MHz	50MHz
	感度	1170DN(nJ/cm <sup>2</sup> )	40~120(V/(lx・s))
	データレート	160 Mpixels/sec	25×3 MHz
	最短スキャン周期	34kHz(15kHz にて運用)	92.4 μsec(10.82kHz)
	ビデオ出力	CameraLink	CameraLink Mid30bit
	電源電圧	DC12~15V	DC12V
	消費電流（電力）	15W	0.5A

表 2-3-1(a)

カメラ仕様

レンズ、照明系

		X 軸	Y 軸（膜厚）	
レンズ	タイプ	両側テレセン、同軸落射	両側テレセン、同軸落射	マクロ
	NA	0.35	0.1	実効 F2.84~3.51
	基準倍率	7.0	7.0	0.05~0.3
	物像間距離	624.5mm	254.5mm	824.9~230.8mm
	視野サイズ	9.1mm	4.1mm	900~150mm
	W.D.	54.8mm	50.5mm	706.9~112.8mm
	イメージサークル	64mm	28.6mm	45mm
照明	種類	メタハラランプ	高周波蛍光灯	

表 2-3-1 (b) レンズ、照明系

光学系は主として、ワーク全体の膜厚分布を見るための低倍率の Y 軸カメラと、詳細観測用の X 軸カメラで構成されている。Y 軸カメラには N 社製の 2098 素子のカラー一次元カメラを採用し、ワーク全体の色合いの変化をとらえ膜厚差を検査する。色合いの微妙な変化は特徴空間法を用いて解析をおこない、膜厚計との相対比較をおこなうことにより、より高精度な検査をおこなうことが出来るようになっている。

X 軸カメラは D 社製の 8192 素子の TDI モノクロカメラを採用、また、レンズは N 社製の両側テレセントリックレンズを採用している。ピクセルサイズが  $7\ \mu\text{m}$  の CCD を 7 倍で使用するのでワーク面におけるピクセル分解能は  $1\ \mu\text{m}$  となる。レンズ分解能は分解能  $= 0.61\lambda / \text{N.A.}$  で表されるので波長を  $\lambda = 550\text{nm}$ 、開口数を  $\text{N.A.} = 0.35$  とすると分解能は  $959\text{nm}$  となる。

#### 駆動系

		X 軸	Y 軸	Z 軸
モータ	タイプ	シャフトモータ	シャフトモータ	ステッピングモータ
ドライバ	タイプ	AC サーボドライバ	AC サーボドライバ	パルスドライバ
距離計測	タイプ	リニアスケール $0.1\ \mu\text{m}$	リニアスケール $0.1\ \mu\text{m}$	$0.1\ \mu\text{m}$

表 2-3-1 (c) 駆動系

駆動系は低振動で実績のある G 社製のシャフトモータを採用しており、ミクロン精度の移動には欠かせないものである。

シャフトモータは文字通り回転機構を持たず、シャフト部分が強力な磁石で出来ており可動部分にはコイルが取付られている。このコイルにサーボドライバを用いて電流を流すことにより推力を発生している。また、位置検出器として R 社製のリニアスケールが取り付けられており、X 軸の場合  $0.1\ \mu\text{m}$  分解能の信号が出るような構造になっている。このスケールの信号をサーボドライバにフィードバックすることにより位置制御をおこなっている。

#### 2-3-2 電気系

画像処理および軸制御、照明制御等はすべて 2 台のパソコンでおこなっている。操作のほとんどはパソコン画面を見ながらキーボードとマウスでおこなうことができるようになっている。

#### 2-3-3 膜厚測定器

今回、この装置の特徴である高速膜厚測定をおこなうに当たってその基準となるような測定器が必要になる場合がある。今回は浜松ホトニクス社製のものを準備したがその動作原理について簡単に触れておく。

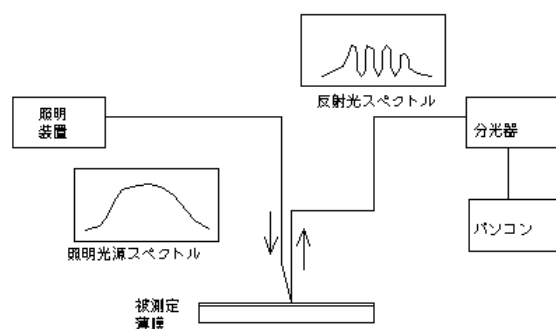


図 2-3-4(a) 測定ブロック図

図 2-3-4(a) は測定ブロック図である。

最初に基準となる反射ミラー（リファレンス）をワーク面に置き、その分光スペクトルを採取する。これにより照明光源の周波数スペクトルが採取される。次に被検査ワークを置き、同様に分光スペクトルを採取する。このことにより被検査ワーク自体の分光スペクトルを採取することができ、(1),(2)式より膜厚が求まる。

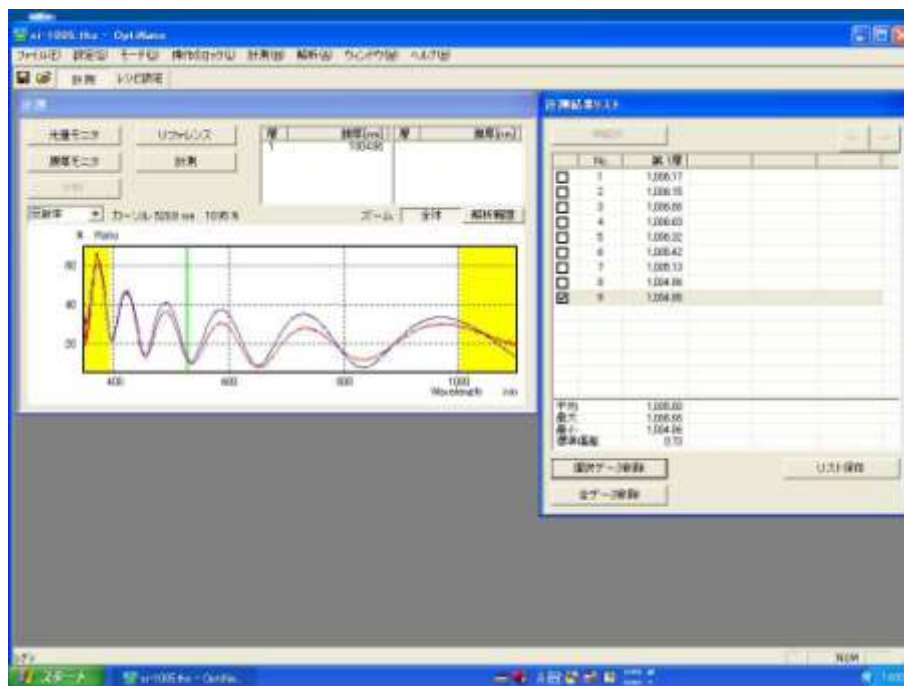


図 2-3-4(b) 測定例

膜厚計仕様（浜松ホトニクス製）

型名	C10027-02
光検出素子	裏面入射型リニアイメージセンサ
測定波長範囲	350～1100nm
波長分解能	<2.5nm
露光時間	19ms～64s
受光素子チャンネル数	1024ch
素子サイズ	24 $\mu$ m $\times$ 2.928mm
素子冷却温度	-15℃
AD 分解能	16 bit
分光器	ツェルニターナ方式
ファイバ受光面積	$\phi$ 1mm
インターフェイス	USB2.0
電源	AC100V～AC240V, 50/60Hz

表 2-3-4 膜厚計

図 2-3-4(b)の測定例は実際にサンプルワークを置いて測定したものである。ワークサンプルとしてはシリコンウェハの上に酸化膜(SiO<sub>2</sub>)が 1000nm ほどついたものを使用した。(1)式および(2)式の  $m$  に 5、厚さを 1000nm,屈折率として SiO<sub>2</sub> の 1.45 を代入して計算すると図 2-3-4(b)の青色のグラフ (計算値) と赤色グラフ (実測値) のようにほぼ重なる結果が得られた。

#### 2-4-1 計算手法

薄膜の微妙な色の変化を捕らえる方法として様々な方法が考えられるがここではその方法の一つとして今回採用した特徴空間法について簡単に触れてみる。

特徴空間法は各画素の RGB 成分を一つのベクトルとしてとらえ、それを任意の基準点からの距離に変換し、それぞれの距離に応じた画素の出現頻度をヒストグラムにし、解析をおこなうようにしたものである。

たとえば最も出現頻度の高いと思われる色に着目し、この色を正常値  $C_0(R_0, G_0, B_0)$  と仮定し、この色と各画素との距離を計算する。このとき距離が遠ければ色相が正常値とかけ離れている、と考える。図 2-4-1 は RGB ベクトル空間を 3 次元座標に表したものである。図の絶対値距離  $r$  を 255 段階の明るさのレベルに変換すると色相距離に応じたモノクロ画面が出来上がる。このモノクロ画面に各明るさレベルに応じた擬似カラーをつければ色相距離に応じた色彩をつけることが可能である。

#### RGB ベクトル空間

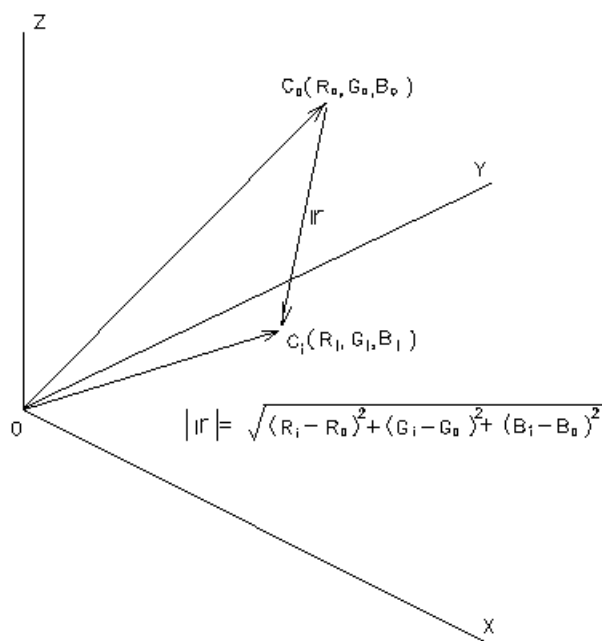


図 2-4-1 RGB ベクトル空間

#### 2-4-2 膜厚差と色空間との関係について

2-2-1 の基本測定原理のところでも述べたように膜厚によって反射光は着色されるが色が虹のようにきれいに出るのは膜の厚さが 100~1000nm 付近の時である。膜厚が可視光の波長の 10 倍以上もあるといろいろな波長成分が反射することになり単なる透明の膜に見えて来てしまうことになる。今回はこうした厚膜は対象としない。

#### 2-4-3 膜厚検査速度について

膜厚検査速度はカメラ感度、グラバボードによる最大データ転送速度、照度、レンズの F 値、ワークの色合いや明度などで決まってくる。軸の最大移動速度は他の要素によって受ける制限よりもはるかに速いのでこの速度が検査速度に制限を与えることはない。最も制限を受けるのはグラバボードによる最大データ転送速度である。

#### 2-4-4 H 社製膜厚計単体での測定例

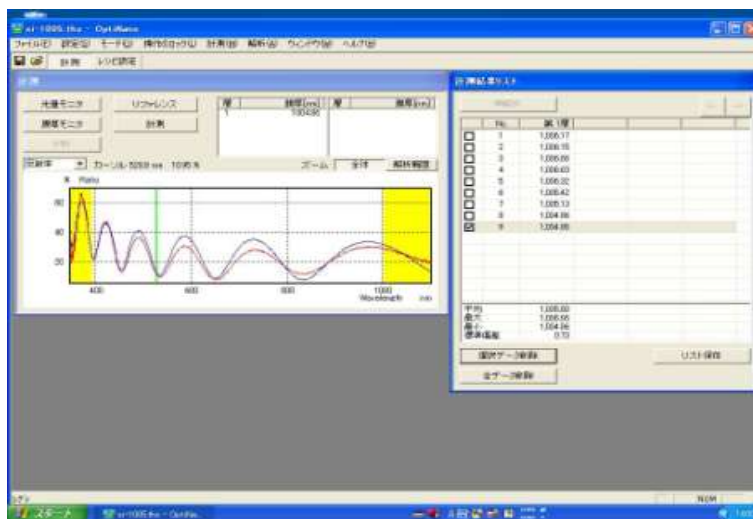


図 2-4-4(a) シリコンウェハ 1000nm コーティング

図 2-4-4(a)はシリコンウェハに  $\text{SiO}_2$  の膜を 1000nm コーティングしたものの測定例である。光の波長に対して膜が厚いため強弱それぞれを満たす波長が周期的に現れる。そのため反射率の波形がサイン波のような形になっている。この場合 FFT（高速フーリエ変換）を用いて解析をすることも可能になってくる。

図 2-4-4(b)の右下のグラフは FFT による計算結果を表示したものである。FFT では反射率の波長応答から膜厚スペクトルを導き出している。1000nm 付近にピークを持っていることが分かる。一般的に FFT は時間軸波形を周波数スペクトルに変換するときなどによく使われるが、この場合は反射率の波長ごとの応答から膜厚軸のスペクトルに変換している。赤色の実測波形と青色の計算波形を比べてみると、振幅はやや異なるが、山および谷の位置関係は非常によく一致しており、妥当性のある結果と考えられる。

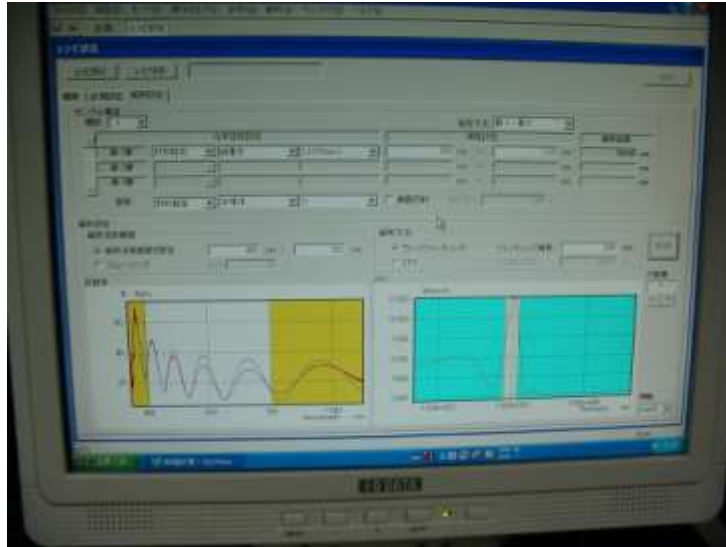


図 2-4-4(b) シリコンウェハ 1000nm コーティング

図 2-4-4(b) の FFT の解析結果（右側のグラフ）から 1000nm 付近にピークを持っていることが分かる。この結果からシリコンウェハのコーティング膜の厚さは 1000nm 付近であることが分かる。

## 2-5 被検査ワークについて

測定結果の詳細については 2-6 の静岡大学の報告書に記載されているのでここでは被測定ワークそのものについての特徴だけを記す。

図 2-6-1、4 は実際にシリコンウェハを撮像して得られた画像である。シリコンウェハの上には  $\text{SiO}_2$  の薄い透明の酸化膜があり、これが薄膜となり、光を反射する。非常に薄い膜のため、光が薄膜干渉を起こし、様々な色を出現する。この様々な色をカラー 1 次元カメラで撮像することにより膜厚の変化を捉え異常な箇所を検出することができる。

図 2-6-1 は膜厚 100nm の異常部分のあるサンプルである。左右の上部、および左側部分で若干青みがかった部分があるがこれが異常箇所である。

この原画像ではただうすぼんやりと色が変わっているだけなのでこの情報だけではどの程度の膜厚差があるのか見極めるのは困難である。

図 2-6-4 は膜厚 1000nm（異常サンプル）のワークである。右周辺部と左周辺部一帯にかけて赤みがかった部分があり中央の正常部分とは明らかな違いがあるのが分かるが、では数値的にどの程度の偏差があるのか、ということはこれでは分からない。

次のページからは今回の装置で得られたデータから浜松メトリックスで培ってきた画像処理システムを用いて静岡大学がおこなった解析結果を掲載している。

## 2-6 静岡大学報告書

### 2-6-1. 概要

まず初めに、撮像した画像を、浜松メトリックス(株)の独自のアルゴリズムを使用し、膜厚の測定を行う画像を作成します。

次に、作成した画像から、画像処理により、膜厚値を求め、膜厚計との相関性を評価する。

今回の評価で、対象とするサンプルは、酸化膜付き半導体である。

### 2-6-2. 評価手順

- 1) 浜松メトリックス(株)独自のアルゴリズムを適用
- 2) 膜厚計で測定した位置の輝度値を調べる
- 3) 膜厚計で測定した位置全ての膜厚値を、画像処理で求める
- 4) 膜厚計と画像処理でのデータの誤差等を表にまとめ、相関性を評価する

### 2-6-3. 評価結果

(Sample-1: 基準膜厚値 100nm、欠陥サンプル)

撮像した画像を図 2-6-1 に示します。

浜松メトリックス(株)独自のアルゴリズムを適用した画像を図 2-6-2 に示します。

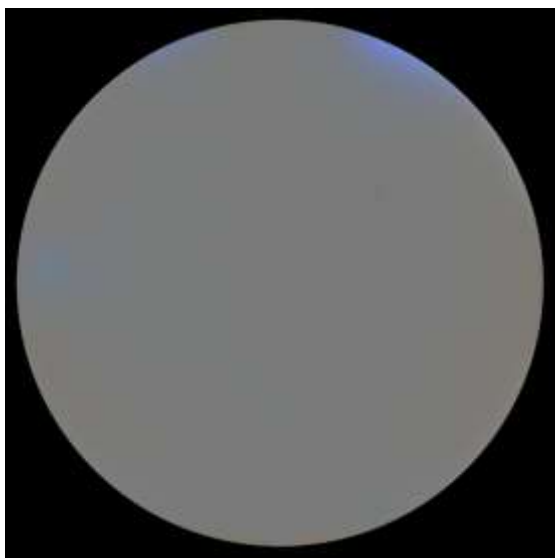


図 2-6-1: 原画像

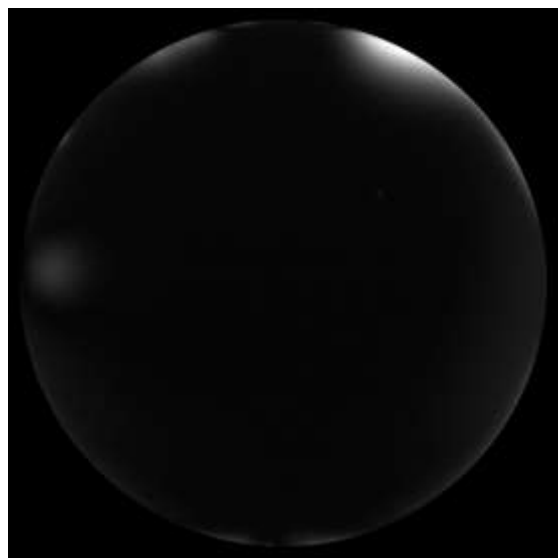


図 2-6-2: 処理画像

図 2-6-2 で、白っぽくなっている部分に膜厚異常が発生しています。  
図 2-6-2 の画像から、浜松メトリックス(株)で測定した膜厚データを基にして、画像処理により、膜厚値の測定を行います。



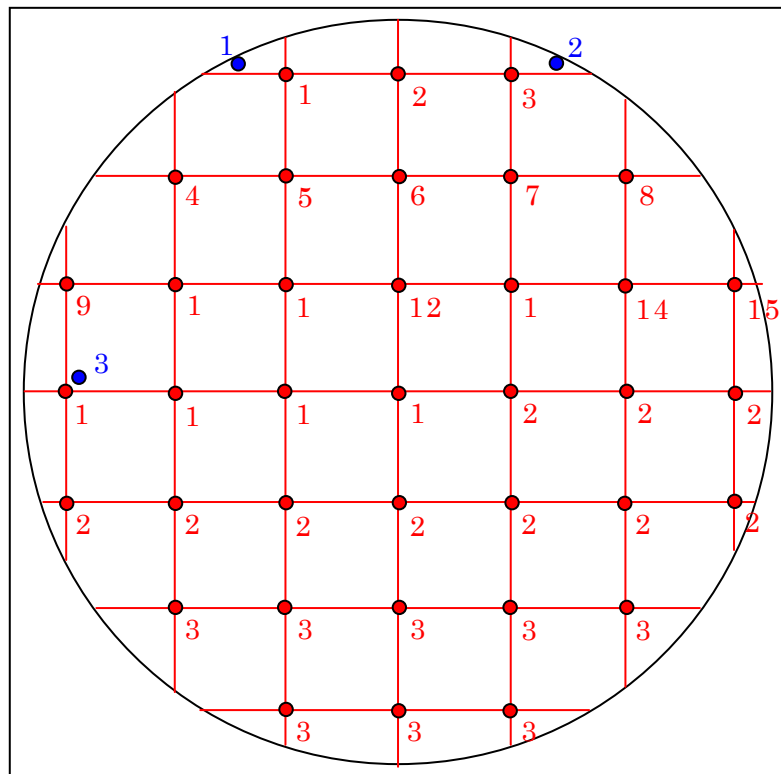


図 2-6-3：計測点マップ

誤差：0.5nm 未満  0.5nm 以上～1.0nm 未満  1.0nm 以上

位置	測定機による 膜厚測定値	画像の 輝度値	画像処理による 膜厚測定値	誤差
1	99.10	14	98.40	0.70
2	98.20	8	98.23	0.03
3	99.90	61	99.74	0.16
4	98.50	6	98.17	0.33
5	98.50	7	98.20	0.30
6	98.30	7	98.20	0.10
7	98.40	7	98.20	0.20
8	98.50	11	98.31	0.19
9	98.80	11	98.31	0.49
10	98.90	8	98.23	0.67
11	99.10	10	98.29	0.81
12	98.70	8	98.23	0.47
13	98.80	7	98.20	0.60
14	98.50	4	98.11	0.39
15	98.40	17	98.49	0.09
16	99.92	47	99.34	0.58
17	99.75	14	98.40	1.35
18	99.45	9	98.26	1.19
19	99.15	8	98.23	0.92
20	98.92	9	98.26	0.66

位置	測定機による 膜厚測定値	画像の 輝度値	画像処理による 膜厚測定値	誤差
21	98.69	6	98.17	0.52
22	98.38	16	98.46	0.08
23	99.51	19	98.54	0.97
24	99.47	14	98.40	1.07
25	99.32	8	98.23	1.09
26	99.11	6	98.17	0.94
27	99.03	4	98.11	0.92
28	98.89	4	98.11	0.78
29	98.41	22	98.63	0.22
30	99.15	9	98.26	0.89
31	98.99	8	98.23	0.76
32	98.87	7	98.20	0.67
33	98.99	8	98.23	0.76
34	99.05	12	98.34	0.71
35	98.53	6	98.17	0.36
36	98.38	6	98.17	0.21
37	98.66	8	98.23	0.43
1	100.70	71	100.03	0.67
2	105.40	252	105.20	0.20
3	100.70	59	99.69	1.01

表 2-6-1：測定結果

誤差の平均：0.58[nm]

他のサンプルに対しても、同様の手順で評価を行う。

(Sample-2 : 基準膜厚値 1000nm、欠陥サンプル)

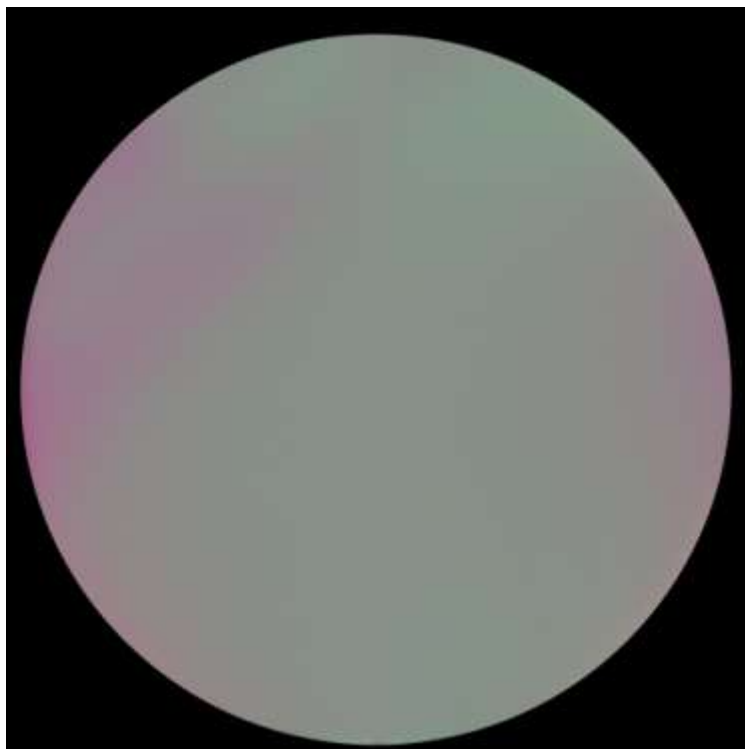


図 2-6-4 : 原画像

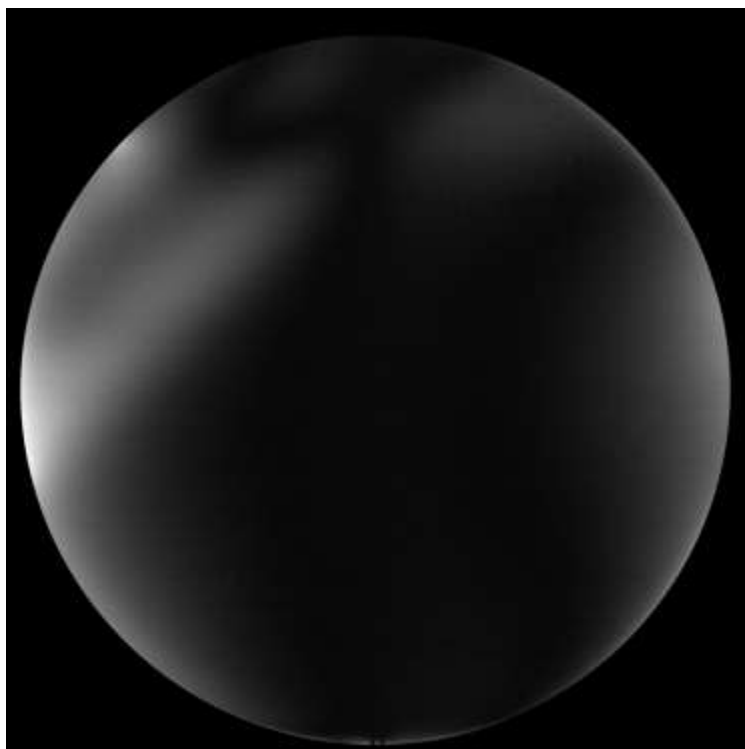


図 2-6-5 : 処理画像

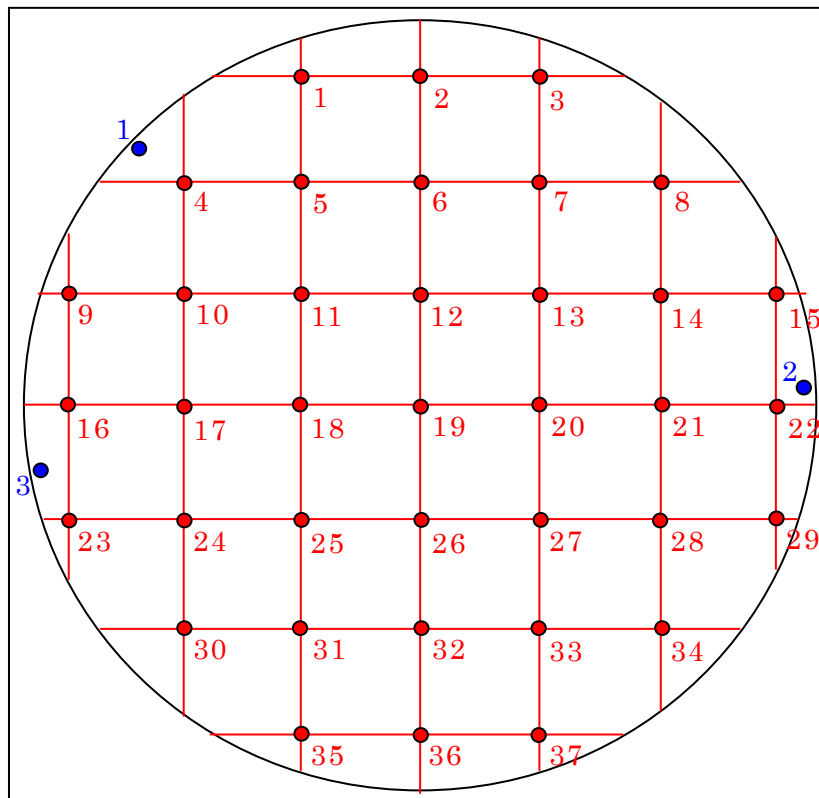


図 2-6-9：計測点マップ

誤差：1.0nm 未満  1.0nm 以上～3.0nm 未満  3.0nm 以上

位置	測定機による 膜厚測定値	画像の 輝度値	画像処理による 膜厚測定値	誤差	位置	測定機による 膜厚測定値	画像の 輝度値	画像処理による 膜厚測定値	誤差
1	1,011.10	70	1,006.12	4.98	21	1,005.20	24	1,003.41	1.79
2	1,009.40	25	1,003.47	5.93	22	1,006.80	77	1,006.53	0.27
3	1,008.50	35	1,004.06	4.44	23	1,007.40	85	1,007.00	0.40
4	1,011.60	108	1,008.35	3.25	24	1,005.10	29	1,003.71	1.39
5	1,008.60	65	1,005.82	2.78	25	1,002.50	12	1,002.71	0.21
6	1,006.90	15	1,002.88	4.02	26	1,002.30	5	1,002.29	0.01
7	1,005.30	22	1,003.29	2.01	27	1,002.40	9	1,002.53	0.13
8	1,007.10	19	1,003.12	3.98	28	1,004.10	12	1,002.71	1.39
9	1,011.70	110	1,008.47	3.23	29	1,005.20	60	1,005.53	0.33
10	1,009.80	93	1,007.47	2.33	30	1,005.90	50	1,004.94	0.96
11	1,004.30	20	1,003.18	1.12	31	1,002.90	13	1,002.76	0.14
12	1,002.50	10	1,002.59	0.09	32	1,002.80	13	1,002.76	0.04
13	1,002.60	8	1,002.47	0.13	33	1,002.60	12	1,002.71	0.11
14	1,005.30	21	1,003.24	2.06	34	1,003.50	25	1,003.47	0.03
15	1,008.60	91	1,007.35	1.25	35	1,004.30	26	1,003.53	0.77
16	1,011.20	160	1,011.41	0.21	36	1,004.20	12	1,002.71	1.49
17	1,008.50	72	1,006.24	2.26	37	1,004.10	10	1,002.59	1.51
18	1,002.40	10	1,002.59	0.19	1	1,017.10	250	1,016.71	0.39
19	1,002.20	10	1,002.59	0.39	2	1,011.30	130	1,009.65	1.65
20	1,002.50	7	1,002.41	0.09	3	1,012.50	200	1,013.76	1.26

表 2-6-2：測定結果

誤差の平均：1.475[nm]

#### 2-6-4 考察

Sample-1 は、測定点全体の平均誤差が 0.58[nm]と非常に精度良く膜厚値の算出が出来ていると考えられます。

ただし、各測定点で評価した場合、誤差が 1[nm]以上の点が発生していますが、スポット膜厚計（以下では単に測定器とする）は点で測定し、画像処理では面(100×100mm)で測定するため、面内で、大幅な変化が起こっている場合、平均値を取ってしまうことが原因であると考えられます。

また、画像撮像時にゴミやホコリ等の外要因により、測定器での測定時と状況が異なった場合も誤差が大きくなる原因になると考えられます。

Sample-2 は、測定点全体の平均誤差が 1.475[nm]と Sample-1 に比べると精度が多少下がっていますが、非常に精度良く膜厚値の算出が出来ていると考えられます。

Sample-1 と比較すると精度が多少落ちているのですが、画像処理では、0～255 段階でしか識別することができないため、Sample-1 では、10nm の膜厚変化を 255 段階で表し、Sample-2 では、20nm の膜厚変化を 255 段階で表しているため、精度が半減しています。

各測定点での評価では、多少誤差が大きい点がありますが、Sample-1 と同様の要因で発生していると考えられます。また、Sample-1 と比較すると Sample-2 の方が激しく広範囲で膜厚が変化しているため、同じ要因でも大きな誤差が発生していると考えられます。

今回の測定器での測定時間と、画像処理での測定時間を比較したものを以下に示します。（表 2-6-3）

	測定器	画像処理
測定点数	37	12560000
測定点間隔	8[mm]	0.1[mm]
測定時間	201[sec]	15[sec]
	3.35[min]	0.25[min]

表 2-6-3：測定時

画像処理の方では、画像のピクセル数だけデータを持っているため、ピクセルの大きさが 0.1[mm]の場合、測定点の間隔も 0.1[mm]になります。一方測定器では、点で測定するため、表 2-6-3 の測定点数では、間隔が 8[mm]と非常に広い間隔が開いてしまいます。

そのため、一般的に言われている測定器の欠点の一つとして、点と点の間の変化が分からないという問題点を画像処理では無くすことができます。

また、測定器の欠点の二つ目として、測定時間が非常にかかるという問題点がありますが、画像処理では、測定器に比べ、測定点が非常に多いのにも関わらず、測定時間は測定器の 13 分の 1 程度で測定可能になっています。

例として、測定器の測定点数を増やした場合(表 2-6-4)と、測定点間隔を画像処理と同じにした場合(表 2-6-5)の測定時間を以下に示します。

	測定器	画像処理
測定点数	400	12560000
測定点間隔	10[mm]	0.1[mm]
測定時間	1200[sec]	15sec
	20[min]	0.25[min]

表 2-6-4: 測定時間 2

	測定器	画像処理
測定点数	12560000	12560000
測定点間隔	0.1[mm]	0.1[mm]
測定時間	18840000[sec]	15sec
	314000[min]	0.25[min]
	5233[h]	0.0041[h]

表 2-6-5: 測定時間 3

画像処理での測定時間は 15 秒に対し、測定器での測定時間は、表 2-6-4 では 20 分、表 2-6-5 では 5233 時間と非常に大きな差があるのが分かります。

以上の結果を踏まえ、測定器で測定する際の利点と欠点、画像処理で測定する際の利点と欠点を以下にまとめます。

	利点	欠点
測定器	①正確に膜厚を測定できる	①非常に時間がかかる ②点と点の変化が分からない
画像処理	①時間がかからない ②細部まで測定できる	①多少の誤差がでる

表 2-6-6

多少の誤差はありますが、測定時間と測定範囲を考慮すると、撮像と画像処理によって、浜松メトリックス(株)のシステムは、上記のサンプル(酸化膜付きウエハ)において、測定器に置き換えることが可能であると考えられます。

### 第3章 全体総括

今回の開発では最大の目標が、高速でなおかつ見逃しなく全面の膜厚を検査できるような装置を作ることであった。今回の酸化膜付きシリコンウェハの測定について言えばその所期の目標を充分達成したものと考えられる。今後の展開として様々なワークについてデータを蓄積し、その有効性の確認をしていくつもりである。たとえば半導体に関していえば今回のような酸化膜付きシリコンウェハに加えて SOI（シリコンオンインシュレータ）のような酸化膜の上にさらに新たなシリコンの層を持ったような素材についても測定をおこない、有効性を確認していきたい。さらに最近では地球温暖化や CO<sub>2</sub> 削減などで注目を集めているのが再生可能エネルギーの活用である。太陽エネルギーから電気を取り出す太陽電池もその一つとして注目されている。そしてその効率アップも重要テーマの一つであり、その1つの方法として太陽電池に無反射コーティング膜を施したものが盛んに研究され始めてきている。そういった分野においても薄膜検査の重要性は増してきているものと考えられる。

さらに最近では携帯電話や家庭用テレビの液晶パネルなども太陽光や照明などの映りこみによるグレアの低減対策の一つとして無反射コーティング膜なども研究されてきている。

今後こうした薄膜技術はますます重要性を増していくものと思われ、そういった分野において今回の装置が活躍できるよう展開を図っていくつもりである。

#### 用語解説

FPD フラットパネルディスプレイの略

ITO 膜 酸化インジウム・スズの頭文字をとったもので代表的な透明導電膜の一種