3 波長ワンショット干渉計測による インクジェット方式カラーフィルタの膜厚測定*

北川克一** 杉原洋樹*** 坪井辰彦† 鈴木一嘉† 大槻真左文†

Automatic Film Thickness Measurement System for Inkjet-Based Color Filters
Based on Three-Wavelength Single-Shot Interferometry

Katsuichi KITAGAWA, Hiroki SUGIHARA, Tatsuhiko TSUBOI, Kazuyoshi SUZUKI and Masafumi OTSUKI

An automatic thickness measurement system has been developed for ink-jet based color filter manufacturing process. The RGB cell thickness is calculated from surface profile data measured by three-wavelength single-shot interferometry. Since this method is very robust against vibration, the system does not require an expensive anti-vibration mechanism. For this development, the following techniques have been developed: (a) three wavelength illumination system using multi-bandpass optical filter, (b) automatic alignment algorithm using phase images, (c) automatic focusing method using the profile data, (d) parallel computation by GPU, and (e) phase unwrapping using look-up-table method. The speed is 1.5s per FOV(Field of View) and measurement repeatability is approximately 1nm.

Key words: Interferometry, surface profiler, three-wavelength, single-shot, color filter

1. 諸 言

フラットパネルディスプレイの大型化、低価格化の流れの中で、コストダウン効果の大きいインクジェット方式によるカラーフィルタ製造法は、益々重要性を増している。この方式は、図1に示すように多数のインクジェットノズルによりカラーフィルタ基板上の各画素(セル)にインクを塗布する方式であるので、各画素の膜厚はノズルの個体差により僅かに異なる。よって、カラーフィルタの製造に際しては、各ノズルの吐出特性を考慮した製造装置のセットアップが必要であり、膜厚が非常に重要な管理項目となる。しかし、このための高速な膜厚測定技術は市場には見当たらない。

そこで、報告者らはこの問題を解決するために、3 波長ワンショット干渉計測法^{1)~3)}を利用した自動膜厚測定装置の開発を行った^{4)~6)}。

本論文における膜厚測定対象は、セットアップ時に各ノズルの吐出量を評価するための塗布テスト基板であり、100×100mm サイズの基板内に、約 30 万個のセルが存在する。各セルのサイズは、約 130×100 μ m であり、図 2(a)(b)に示すように、高さ約 2 μ m のブラックマトリクス(BM)で囲まれている。膜厚の管理には、各セルの膜厚絶対値のほか、その平坦性も重要である。そのため、膜厚計測法として、スポット径が大きくて分布測定が困難な分光法などの膜厚計ではなく、表面形状測定法を使用することにした。すなわち、図 2(a)に示すように、RGB 塗布セルの上下に、インクを塗布しない空セル・ラインを設け、測定された表面形状から、図 2(b)に示すように膜厚、ないし膜厚分布を求める。

このような数 μ m オーダーの表面形状測定技術としては、表 1 に示す種々の方式があるが、筆者らが開発したワンショット干渉計測法のみがカラーフィルタの膜厚管理に求められる速度、精度、

Fig.1 Ink-jet based color filter manufacturing process

Fig.2 Color-filter substrate and its film thickness measurement

測定レンジを満たすと考えられる。また、本方式は、耐振動性に優れ、低コストであることも選定の理由である。なお、本試料の膜は半透明であるが、裏面反射光量が表面反射光量に比べて無視できる程度に小さく、ワンショット干渉計測法による表面形状測定には問題にならない。

本報告では、第 2 章において、装置構成と 3 波長ワンショット法の概要を述べ、第 3 章で動作フローと自動化技術を、第 4 章でテスト結果を、第 5 章で装置の改良について述べる。

2. 測 定 装 置

2.1 装置構成

開発した装置の外観を図 3 に、主な仕様を表 2 に示す。市販の 3 軸直交ロボット(蛇の目ミシン工業製 JR2503N)に測定光学系を搭載したもので、特別な除振対策は講じていない。対象基板は、インクジェット・カラーフィルタ基板で最大サイズ 510×510mm

* 原稿受付 平成 23 年 5 月 25 日

** 正 会 員 東レエンジニアリング(株)(滋賀県大津市大江 1-1-45)

*** 東レエンジニアリング(株)(現、東レ(株)) ; 滋賀県大津市園山 3-3-1)

† 東レエンジニアリング(株)(滋賀県大津市大江 1-1-45)

まで搭載できる。顕微鏡の対物レンズ倍率は 5 倍を標準とし、この場合の視野サイズは、 $1.25 \times 0.95 \text{ mm}$ である。カメラは高精細 (1344×1024 画素) なので、水平分解能 (画素サイズ) は、 $0.92 \mu\text{m}$ である。使用計算機は、Windows PC (CPU 2GHz) であり、オートフォーカス、画像アライメントなどを含め、全自動測定を可能にしている。

2.2 3 波長ワンショット法

3 波長ワンショット干渉法^{1)~3)}の概要を述べる。

Table 1 Major surface profiling techniques and their performances

Techniques	Performances	Speed	Precision	Range
Confocal microscope		△	△	◎
Stylus		×	○	◎
AFM		×	◎	○
Interferometry	White-light	△	○	△
	Phase-shift	○	◎	◎
	Single-shot	◎	○	○

Note: ◎/○ means satisfactory; i.e. the areal measurement speed is faster than a few seconds, the precision is better than a few nm, and the measurement range is longer than a few microns.

△/× means unsatisfactory.

Fig.3 Outlook of apparatus

Table 2 System specifications

Item	Specification
Target	Ink-jet based color filter substrate (max. size : $510 \times 510 \text{ mm}$)
Measurement item	Cell thickness profile
Principle	Three wavelength single-shot interferometry
FOV	$1.25 \times 0.95 \text{ mm}$ (with $5 \times$ objective lens)
Range	Approx. $4 \mu\text{m}$
Camera pixels	1344×1024
Horizontal resolution	$0.92 \mu\text{m}$ (with $5 \times$ objective lens)
Repeatability	Approx. 1nm
Focus	Full y automatic
Alignment	Full y automatic
Speed	Approx. 1.5s/FOV
Image processor	Windows PC; GPU

2.2.1 光学系

図 4 に光学系を示す。干渉光学系は市販干渉顕微鏡(ニコン製)で構成され、マイケルソン型干渉対物レンズの参照面を傾斜させることで、キャリア縞を導入する。

3 波長照明系は、3 台の白色光源、3 枚の干渉帯域フィルタ、3 分岐光ファイバガイドから構成されている。3 波長は最適な組み合わせの探索結果から、 $470 \text{ nm}(\text{B})$, $560 \text{ nm}(\text{G})$, $600 \text{ nm}(\text{R})$ とした。この波長の組み合わせによれば、測定レンジが $4 \mu\text{m}$ 以上となる^{4)~6)}。干渉フィルタの帯域幅は、 10 nm であり、コヒーレンス長は約 $20 \mu\text{m}$ になっている。

撮像系には、140 万画素の 3 板式カラーカメラ (日立国際電気, HV-F22CL) を使用した。高精細カメラの採用は、1 回の測定で、広い視野をカバーするためである。図 5 は、カラーカメラの分光感度特性と、使用した 3 波長を示す。カラーカメラの BGR 成分が、照明光の 3 波長成分に対応していて、クロストークが小さいことが分かる。

2.2.2 測定アルゴリズム

撮像したカラー画像から高さを求める計算フローを図 6 に示す。カラーフィルタ基板を測定対象として、各処理内容を下記する。

(1)色分解

図 7 に示すように、撮像した干渉縞画像を B, G, R 成分に分解する。

(2)クロストーク補正

カラーカメラの分光感度曲線は、図 5 のように、各色間でオーバーラップしているので、B, G, R 信号間にはクロストークがある。そこで、観測輝度 (B', G', R') が、真の輝度 (B, G, R) とクロストークの強度を表す係数 a, b, c, d, e, f により

$$\begin{cases} B' = B + aG + bR \\ G' = cB + G + dR \\ R' = eB + fG + R \end{cases} \quad (1)$$

と表されると仮定して、クロストーク補正を行う⁷⁾。係数は、各照明を個別点灯し、R, G, B 輝度の相関から求めることができる。

(3)周波数推定

位相計算に使用する局所モデル適合法では、縞の周波数が既知であることを前提としている。このため、縞画像からキャリア縞周波数を高速、かつ高精度に得るために、筆者らが開発した方法 (位相勾配法)⁸⁾を使用する。本方法は、 $g(x) = A \cos(2\pi f x + \phi(x))$ で表される観測信号に、周波数推定値 f' のモデル信号 $g'(x) = A' \cos(2\pi f' x + \phi'(x))$ を最小二乗適合し、得られた位相

Fig.4 Optics of three-wavelength single-shot interferometry

Fig.5 Spectral sensitivity of camera and three wavelengths

Fig.6 Flowchart of three wavelength single-shot interferometry

$\phi(x)$ の勾配から,

$$f = f' + (1/2\pi)(d\phi'(x)/dx) \quad (2)$$

により, 周波数 f を求める. 推定領域としては, 視野内の平坦領域 (空セル部)を使用する.

(4)波長校正

縞周波数 f と波長光源の波長 λ の間には, 参照面と試料面の相対的傾斜角を θ として,

$$f = (2 \tan \theta) / \lambda \quad (3)$$

の関係がある. すなわち, 波長光源の波長 λ と縞周波数 f は反比例の関係にある. 縞周波数は正確に求めることができるので, 一つの波長を基準波長 λ_s とし, 他の二つの波長 λ_i を次式により相対的に校正する.

$$\lambda_i = (f_s / f_i) \lambda_s \quad (4)$$

なお, この校正は, 光学系が変更された時に実行する.

(5)位相計算

各点における位相は, 局所モデル適合法 (Local Model Fitting 法; 以下, LMF 法と呼ぶ) ⁹⁾により求める. すなわち, 各点の近傍の n 点($n \geq 3$)の輝度データを次式の正弦波状モデル関数に最小二乗適合する.

$$g(x, y) = a + b \cos(\phi + 2\pi f_x x + 2\pi f_y y) \quad (5)$$

ここで, キャリア縞周波数 f_x, f_y は前述の推定法によりあらかじめ求めておく.

この最小二乗問題は非線形であるが, $\xi_c = b \cos \phi$, $\xi_s = b \sin \phi$ の変数変換により, モデルを線形化して, 線形最小二乗問題に変換できる. よって, 未知パラメータ a, ξ_c, ξ_s は, 3元連立方程式を解いて解析的に求められる. 位相 ϕ は

$$\phi = \text{atan}(\xi_s / \xi_c) \quad (6)$$

により求められる.

適合に使用する近傍データ領域は, 干渉縞方向と直交する縦長の矩形 (横 5 画素×縦 25 画素) とした. 位相計算結果を図 8(a)~(c)に示す.

(6)位相アンラッピング

各波長で得られた位相から高さの候補を算出し, 予想される高さ範囲内で最も良く合致する高さ候補を選択する方法を採用した. この方法は, 古くからブロックゲージの校正に使用されている「合致法」(exact fraction method) ¹⁰⁾と同じである. 高さの候補値 $h_i(n_i)$ は, i を波長番号 ($i=1,2,3$), n_i を次数, 波長 λ_i の位相を ϕ として,

$$h_i(n_i) = (\phi_i / 2\pi + n_i) (\lambda_i / 2) \quad (7)$$

により求められる.

これらの候補値から, 最も合致誤差の小さい高さ候補値を求め

Fig.7 Fringe image and three component images

Fig.8 Three phase images and measured height

Fig.9 Measured height of color filter (3D view)

る際の合致誤差の指標としては、次式で表現されるレンジ（最大値と最小値の差）を使用した。

$$E(n_1, n_2, n_3) = \max\{h_1(n_1), h_2(n_2), h_3(n_3)\} - \min\{h_1(n_1), h_2(n_2), h_3(n_3)\} \quad (8)$$

次数決定後の高さは、次式の単純平均を使用した。

$$h = \{h_1(n_1) + h_2(n_2) + h_3(n_3)\} / 3 \quad (9)$$

高さ測定結果を図8(d)に、その3D表示を図9に示す。約2 μ mの段差も問題なく測定されている。

3. 動作フローと自動化技術

3.1 動作フロー

本装置の動作フローを以下に示す。ここで、ステージ移動は③～⑤の計算と並行して実行される。

- ①オートフォーカス
- ②撮像
- ③アライメント（位置認識）
- ④高さ計算
- ⑤膜厚計算
- ⑥ステージ移動 → ①に戻る

以下に、本装置のために開発した自動化技術を述べる。

3.2 オートフォーカス

基板の傾斜やステージの上下変動などのために、光学系と対象表面との距離が変動する。この距離をほぼ一定に保つことをオートフォーカスと表現する。本装置では、オートフォーカスにより、画面全面がコヒーレンス長（約20 μ m）の範囲に入ることと、画面内に0次縞が存在すること（縞本数40本の場合、 $\pm 6\mu$ mに相当）が必要である。

筆者らは、各画面で表面形状を測定する際に、干渉次数を考慮して絶対高さを求め、それに基づいてオートフォーカスする方法を開発した。絶対高さを求めるには、干渉縞画像の0次縞位置を検出し、それを高さ原点とする。0次縞位置は、縞方向に直交する方向のライン上で、3波長輝度の総和が最大になる位置として検出される。測定された空セル平均高さが一定になるように、ロボットのZ軸を制御することで、オートフォーカスが達成できる。実際には、高さの測定結果を利用して、次画面への移動中にZ軸を制御している。

3.3 アライメント

本装置のような自動装置では、撮像した各画像の位置ずれを画像処理により検出し、ソフトで位置補正することが重要である。しかし、干渉画像では縞の存在のために、テンプレートマッチングのような通常のアライメント技術が使用できない。

筆者らは、縞画像を対象とせず、縞画像から求めた位相画像を対象にするアライメント法を開発した。すなわち、撮像された画像から、LMF法により位相画像を求める。位相画像とは、 $-\pi \sim \pi$ の位相値を0～255に換算して濃度表現したものであり、図8に示すように高さに応じた濃淡画像になっている。よって、図10に示すように、空セル領域が矩形の暗部、または、明部として明確に顕れるので、通常の画像処理アライメント法（Blob解析法）により位置検出ができる。

また、図8に示すように画像から3枚の位相画像が得られ、それらが異なる様相を示すので、アライメントに最適な画像を選択することで、安定なアライメントが可能になった。

3.4 膜厚計算

得られた高さデータから、空セル領域の高さを抽出し、それに

Fig.10 Alignment by using phase image

フィッティングした平面を基準面にして各セルの膜厚を計算する。各セルの中央部70×30画素の平均値を膜厚代表値とする。

4. テスト結果

4.1 膜厚測定結果

カラーフィルタ基板の干渉縞画像を図7(a)に、その高さ測定結果を図8(d)に、その3D表示結果を図9に示す。エッジ部のノイズを除けば、光干渉式表面形状測定装置SP-500による従来手法（垂直走査干渉法）での高さ測定結果と良く一致した。

4.2 測定精度

繰り返し測定時の膜厚測定値を表3に示す。この表の数値は、1視野内の塗布セル18個について、繰り返し10回測定した膜厚の測定結果をセル毎に集計し、その集計結果を各色で平均したものである。再現性（標準偏差 σ ）は1～2nm程度と、非常に良いことがわかる。

4.3 測定速度

自動測定時の測定時間は、1視野あたり約8sである。空白セルを除くと1視野内に計18セルが存在するので、1セルあたりの測定時間は約0.44sになる。

なお、本装置では、セル内の膜厚分布（平坦度）も計測可能なように対物レンズ倍率を5 $\times$ としたが、膜厚平均値のみで良い場合には、倍率を2.5 $\times$ に変更することができる。この場合、1視野の測定領域が4倍となり、測定速度は約4倍になる。

5. 自動膜厚測定装置の改良

前章までに述べたカラーフィルタ基板の自動膜厚測定装置は、所期の目標を達成し、実用に供されたが、さらなる性能向上、特に測定時間の短縮を検討した。各処理フローにおける測定時間分析の結果を表4に示す。この結果から、画像取り込み・選択、位相計算、位相アンラッピングの順で時間を要していることがわかる。そこで、これらのプロセスの高速化を検討した。

5.1 画像取り込み・選択時間の短縮

(1) 画像選択の必要性

ワンショット干渉計測法は、原理的に、1枚の画像の撮像だけで良い。しかし、本装置では、装置本体に市販の3軸ロボットを採用しており、特別な除振対策を実施していない。このため、撮像画面に被写体ぶれが発生する。特に、ステージ移動による振動の影響が大きい。

この問題を解決するために、撮像時に30枚の画像を連続取得し、その中から被写体ぶれの最も少ない画像を自動選択する処理を追加した。このために、画像取得時間が約5sと長くなっていた。

(2) 新規照明系

被写体ぶれを抑えるには、照明をストロボにする案があるが、コストがかかる。カメラのシャッター露光時間を短くすることが効果的であるが、光量不足のために、1/200s以下に短縮できない。

Table 3 Measurement repeatability of thickness (nm)

Color	R	G	B
Average	515	700	773
Std. Dev. (σ)	1.0	0.9	1.6

Table 4 Result of measurement time analysis

Process	Time s	Percentage %
Image capture	4.95	62
Alignment	0.14	2
Frequency estimation	0.00	0
Phase calculation	1.80	23
Unwrapping	1.03	13
Total	7.92	100

カメラの高感度化や光源の光量アップは容易ではない。そこで、照明光路の改良を検討した。

従来の照明系は、図 4 に示すとおり、3 光束を 3 分岐光ファイバ・ライトガイドで混合して照射する構成である。そのため、各波長の光路は、ライトガイドの全光路の 1/3 に制限されている。そこで、筆者らは、この光路の隘路を改善するため、多波長バンドパスフィルタ (Multi-Band Pass Filters; MBPF) と呼ばれる光学フィルタを製作・導入した。このフィルタは通常の帯域フィルタと異なり、図 11 のように複数帯域での透過が可能である。

このフィルタの導入により、図 12 のように 1 台の光源から 3 波長の混合光を取得可能となり、また、従来のフィルタより透過率を高く設計できたので、照明光量は従来比 5 倍となり、シャッター速度を従来の 1/200s から 1/1000s に高速化できた。その結果、測定 1 回あたりの画像撮像枚数を 3 枚に削減し、撮像にかかる時間を従来の 4.95s から 1.12s に短縮できた。また、光源台数が 1/3 になり、装置の製造コストとランニングコストも大きく削減できた。なお、MBPF は、通常、ラマン分光のために使用されているものであり、多波長干渉計の照明に利用した例は見当たらない。

5.2 位相計算の高速化

LMF 法による位相計算は各画素の近傍演算であり、並列演算に適しているため、以下の 2 つの手法を導入した。

(1) マルチコア演算の導入

コンピュータの CPU は、近年、処理能力を向上させるアプローチとして、コア数を増やす方向にシフトしている。そこで、本測定装置においても、CPU をマルチコア化し、コア数に合わせて画面を 4 分割し、並列処理化とソフトウェアの最適化を行った。この結果、位相計算は 3.1 倍、位相アンラッピングは 6.4 倍の高速化ができた。

(2) GPGPU の導入

さらなる高速化の手段として、GPGPU (General Purpose Computing on GPU) と呼ばれる演算技術を導入した。この技術は、GPU (Graphics Processing Unit) 上にある多数のコアで並列計算を実行させる。GPGPU は、同一アルゴリズムによる並列計算に最適化されていて、導入コストも低い。

そこで、位相計算に GPU (NVIDIA 製 QuadroFX4600; コア数 96 個) による並列演算を導入した。この結果、シングル CPU 処理と比較して 10.6 倍、マルチコア演算に対しては 3.1 倍の高速化が得られ、1 視野あたりの処理時間は 0.17s と大幅な時間短縮を達成した。

Fig.11 Spectral transmittance of multi-bandpass filter **Fig.12** New three-wavelength illumination system

5.3 位相アンラッピングの高速化

合致法による位相アンラッピング計算は、3 波長の位相から最も確からしい高さ測定値を探索する処理であるが、意味のある位相の組合せは有限個である。よって、あらかじめ、位相の組合せに対する高さを辞書 (ルックアップテーブル; LUT) として保持しておけば、図 13 に示すとおり、測定の際に探索処理を省略できる。位相の組合せテーブルのサイズは、位相刻みに依存する。合致法の実験結果から、必要な高さ刻みを 3nm とすると、位相刻みは 2π の約 1/100 となり、テーブルサイズは、 $100^3=10^6$ となった。この表のパラメータは、3 つの波長と次数探索範囲であり、これらに変更された時点で、表を作成する。実行時には、3 波長の位相から次数を読み出すだけで良い。

高さ計算にルックアップテーブルを導入した場合の効果について考察する。各画素における高さ計算回数を比較すると、次数範囲が N の場合、従来法では $3N$ 回であるが、LUT 法では 1 回である。高さレンジが $4\mu\text{m}$ の場合、次数範囲 N は 14 となるので、演算回数比は 42:1 となる。実際の装置の高さ計算時間は、従来の 1.03s から 0.06s となり、17.2 倍の高速化に成功した。

5.4 改良の成果

画像取り込み・選択時間は、多帯域フィルタを利用した新規照明系の開発により、位相計算はマルチコア、および、GPU の採用により、また、合致法による高さ計算は、Look-Up-Table 方式の採用により、それぞれ大幅に高速化した。高速化前後の測定時間の詳細を表 5 に示す。この結果、1 画面あたりの所要時間を、7.9s から 1.5s に短縮することができた。この速度は、1 画面が約 140 万画素で構成されているので、1 画素あたり約 $1\mu\text{s}$ に相当する。

6. 結 言

3 波長ワンショット干渉法を利用して、インクジェット方式カラーフィルタの自動膜厚測定装置を開発した。空セルを含む対象基板の表面形状を測定し、空セル高さからの段差として各セルの膜厚を求める。

測定自動化に必要なオートフォーカスとアライメント技術を開発した。いずれも、新規なハードウェアを装備することなく、描画像処理により実現した。

実試料によるテスト結果から、特別な除振機構なしで、ナノメートル・オーダーの測定再現性が得られることを確認した。

本装置のさらなる耐振性向上と高速化のために、マルチバンドパスフィルタ (MBPF) を利用した高輝度 3 波長照明方法を開発した。また、GPU の採用と、Look-Up-Table 方式高さ計算アルゴリズムの開発により、計算時間を 1 桁以上短縮した。この結果、測定速度が 1 画面あたり 1.5 s (1 画素あたり 1 μ s) という高速の自動膜厚測定装置を実用化した。

参 考 文 献

- 1) K. Kitagawa: Three-Wavelength Single-Shot Interferometry, 2008 JSPE Autumn Meeting, (2008) 179 (in Japanese).
- 2) K. Kitagawa: Three-Wavelength Single-Shot Interferometry, Proc. of ViEW 2008 Workshop, (2008) 5 (in Japanese).
- 3) K. Kitagawa: Fast surface profiling by multi-wavelength single-shot interferometry, International Journal of Optomechatronics, **4**, (2010) 136.
- 4) K. Kitagawa, T. Tsuboi, K. Suzuki and M. Otsuki: Automatic Film Thickness Measurement System of Inkjet-Based Color Filters by Three-Wavelength Single-Shot Interferometry, 2010 JSPE Spring Meeting, (2010) 881 (in Japanese).
- 5) K. Kitagawa and H. Sugihara: Speed Improvement of Automatic Film Thickness Measurement System for Inkjet-Based Color Filters Based on Three-Wavelength Single-Shot Interferometry - By Using a Multi-Wavelength Filter and GPU -, 2010 JSPE Autumn Meeting, (2010) 781 (in Japanese).
- 6) K. Kitagawa, H. Sugihara, T. Tsuboi, K. Suzuki and M. Otsuki: Automatic Film Thickness Measurement System for Inkjet-Based Color Filters Based on Three-Wavelength Single-Shot Interferometry, Proc. of ViEW 2010 Workshop, (2010) 392 (in Japanese).
- 7) K. Kitagawa: Crosstalk Compensation for Three-Wavelength Interferometry, SICE Trans. on Industrial Application, **8**, (2009) 113 (in Japanese).
- 8) K. Kitagawa: Two-Dimensional Frequency Estimation for Fringe Analysis by Phase Gradient Detection, SICE Trans. on Industrial Application, **8**, (2009) 108 (in Japanese).
- 9) M. Sugiyama, H. Ogawa, K. Kitagawa and K. Suzuki: Single-shot surface profiling by local model fitting, Appl. Opt., **45**, (2006) 7999.
- 10) C. R. Tilford: Analytical procedure for determining lengths from fractional fringes, Appl. Opt. **16**, (1977) 1857.

Fig.13 Speed-up by Look-Up-Table method

Table 5 Reduction of measurement time

Process	Before s	After s
Image capture	4.95	1.12
Alignment	0.14	0.14
Frequency estimation	0.00	0.00
Phase calculation	1.80	0.17
Unwrapping	1.03	0.06
Total	7.92	1.49