

コヒーレンス相関干渉計 (CCI)

フォトレジスト膜厚の 高精度測定

Yang Yu, PhD.; Mike Conroy, PhD.; Richard Smith.

はじめに

フォトレジスト製品が機能を十分に発揮するには、フォトレジスト膜の厚みと均一性の正確な測定が不可欠です。コヒーレンス相関干渉計 (CCI) は、広い膜厚レンジに対応し、圧倒的な高精度で測定を行います。Dr. Yang Yu、応用科学者、テーラーホブソン社。

フォトレジストは、よく知られたマスキング用の感光性物質で、物体の表面を特定のパターンでコーティングをする際に用いられます。フォトリソグラフィならびにフォトエンレービングでは、日常的にフォトレジストを使用します。MEMSや太陽光発電、ホログラフィ、医用生体工学だけでなく、半導体やプリント回路板の製造に代表される様々なテクノロジーにも、フォトレジストが使われています。

フォトレジスト製品の生産コストを抑えるには、フォトレジスト膜の適切な露光が重要です。露光量が間違っていると、不完全なパターンの部品が量産されてしまいます。形成されたレジストの膜厚と露光量の間には関連があるため、フォトレジスト膜厚を測定することで露光時間を割り出すことができます。

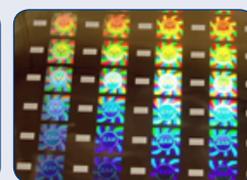
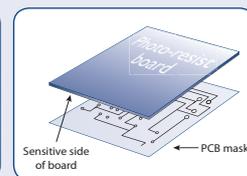
厚みが均等で屈折率が一定のフォトレジスト膜を形成するのは非常に困難であるため、適切な露光量を前もって正確に決めることは、ほぼ不可能です。望み通りの厚さで、しかも表面の均一性が高いものが、理想的なフォトレジスト膜です。

フォトレジスト膜の露光を調整するには、フォトレジストのコーティングの厚みと分布を正確に測定することが必要です。そうした測定は、フォトレジスト形成の最中もしくは後にウェーハ上で行うことができます。

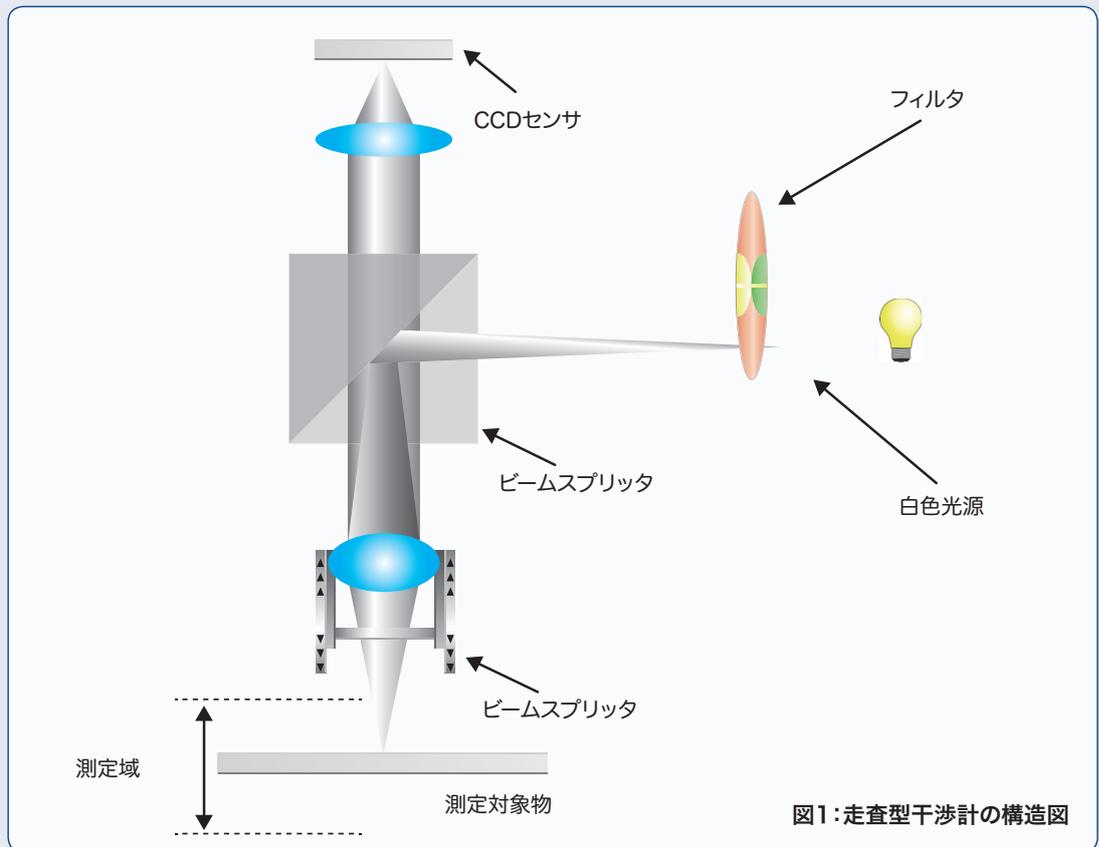
膜厚の測定には、数々の測定ツールが使われてきました。分光測光法、反射光測定法、偏光解析法、そして物理的な段差測定など、従来型の測定法もそのなかに含まれます。走査型白色干渉計 (SWLI) は、横方向の高い解像度とスピードのお陰で一般的になりつつありますが、伝統的な干渉計には、膜厚が約1.5μm以上ないと正確な計測ができないという限界がありました。しかし今日では、CCI HDならびに特許取得済みの膜厚ソフトウェアを使用することで、わずか50 nm弱の厚みまで測定可能です。膜厚測定には、ほかにも、波長干渉法やプリズム結合器、レーザービームを使った熱波探知等の手法が使われてきました。

使用例

フォトレジストは、半導体やプリント回路板、MEMS、ホログラフィ、太陽光発電、そして医用生体工学をはじめとする様々なテクノロジーに幅広く利用されています。



コヒーレンス相関干渉計(CCI)



「フォトレジストは様々な産業で使われており、コヒーレンス相関干渉計の重要性も高まっています。」
Dr. Mike Conroy、
開発マネージャ、テーラー・ホブソン社。

図1は、走査型干渉計の構造図です。光源からの光は、上部のビームスプリッタを介して対物レンズに向かい、さらに下部のビームスプリッタによって2つの光束に分割されます。

光束の1つは試料面に照射され、もう片方は内部の参照ミラーに照射されます。2つの光束は再結合したのち、検出器に送られます。干渉計の測定対象をz軸方向に走査する際、2つの光束の光路の長さが等しいと干渉が起こります。検出器は、干渉の強度を測定し、試料の測定が行われている間、一連の変化を記録します。

この一連のデータによって、試料面から反射される光の強度マップが作られ、その強度マップは測定した試料面の3Dイメージ作成に使われます。干渉計の動きの制御と試料面のパラメータの算出には、様々な技術が使われています。走査型白色干渉計を使った測定の精度と再現性は、走査メカニズムの制御ならびに干渉データを使った表面特性の計算に左右されます。

コヒーレンス相関干渉計⁽¹⁾には、以下のような特長があり、様々な製品の測定において重要性が高まっています。

- ・ 全自動かつ非破壊方式の測定
- ・ 高精度かつ定量的な表面特性の評価
- ・ 走査範囲に関わらず、解像度はオングストローム未満
- ・ 試料の装填とセットアップは迅速かつ容易
- ・ 様々な物質の測定が可能
- ・ 高い再現性
- ・ 一回の測定で、粗さと段差の解析が可能
- ・ 膜厚ならびに界面表面の測定が可能

膜厚の測定

画素数400万、ナノメートル未満の縦方向解像度と1 μm 未満の横方向解像度を誇るCCI HDと特許取得済みの膜厚ソフトウェアを使うことで、わずか50 nm弱の厚みまで測定することができます⁽³⁾⁽⁴⁾。Dr Yang Yu、応用科学者、テーラーホブソン社。

干渉計には、もうひとつ、膜厚の測定という重要な機能があります。干渉信号が膜の表面に生じたとき、特殊なアルゴリズムを使うと、干渉図から膜厚を求めることが可能になります。表面情報を得ることが可能な場合もあります。

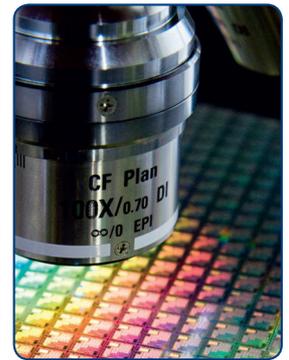
高性能CCI HDでは、4百万のカメラ画素のそれぞれが1 μm の光学プローブとして機能し、各点で独立に厚みを測定します。その結果、複数地点の膜厚を高速で測定することが可能です(図2、図3)。

膜厚ソフトウェアとコヒーレンス相関干渉計(CCI)を組み合わせることで、薄膜測定の可能性が格段に向上しました⁽¹⁾⁽²⁾。

図2:CCI HD



図3:CCI HDクローズアップ



CCIテクノロジーを使うと、以下の2通りの膜厚測定が可能です。

- ・ 厚膜(>1.5ミクロン)
- ・ 膜厚解析(50 nm弱以上)

従来の厚膜測定法

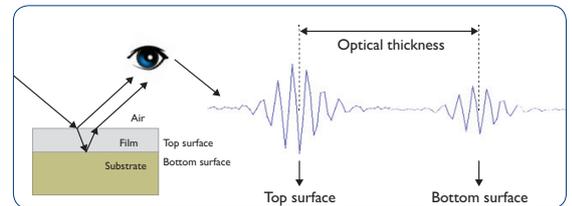
膜厚が約1.5 μm を越える場合(屈折率による)、SWLIと層の相互作用によって2つの干渉縞が形成され、それぞれ界面表面に現れます(図4)。

図4:7 μm 厚膜の単一画素測定



膜厚は、その2つの干渉縞のピーク位置を突き止め、屈折率を適用することによって確定されます。さらに、個々の干渉縞から、2つの界面(空気/膜と膜/基板)の表面情報を得ることも可能です(図5)。

図5:膜厚の確定



厚膜測定法の限界

膜厚が小さくなるにつれ、2つの干渉縞の距離は縮まっていき、最終的には重なって1つの干渉縞のように見えるまでになります(図6)。

図6:270 nm膜の単一画素測定

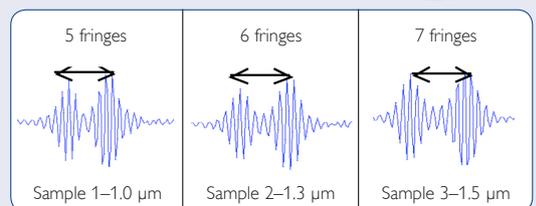


膜厚が1.5 μm 未満の場合(屈折率による)、干渉縞に歪みが生じるため、厚膜測定法では厚みを測れません(図7)。別の方法を使う必要があります。

図7:各試料の単一画素干渉縞

干渉縞の大幅な歪み

干渉縞のわずかな歪み



膜厚が約1.5 μm 以下になると、干渉縞の歪みが著しく大きくなります。歪みが大きいと、ピーク位置がずれ、従来の厚膜測定法では正しい膜厚を確定することが不可能になります。

膜厚解析—解決策

膜情報を得るため、この問題に対する新たな解決策 (HCF) (2) が考案されました。HCF機能を取り込んだコヒーレンス相関干渉計 (CCI) は、膜厚情報を入手するための理想的な手段です。HCFは、約5 μm から約300 nmの範囲であれば、誤差1%以内の高精度で膜厚を測定することができます。わずか50 nmの膜の測定も行われていますが、こうした非常に薄い膜の場合、精度が物体の光学的性質に左右されるため、注意が必要です。

フォトレジストの測定結果

膜厚解析法 vs. 従来の厚膜測定法

新しい膜厚測定法と従来の厚膜測定法を比較するため、フォトレジスト標準器を使った一連の実験を行いました (表1)。

表1: 干渉法による膜厚測定法の比較⁽⁵⁾

試料	シリコン上のフォトレジスト		
厚膜解析 (μm)	1.173 ± 0.025	1.307 ± 0.024	1.485 ± 0.029
膜厚解析 (HCF) (μm)	1.066 ± 0.002	1.264 ± 0.003	1.477 ± 0.005
差 (μm)	0.107	0.043	0.008

膜厚が1.5ミクロン以下になると、2つの異なる方法で測定された値の差が大きくなります。表1の結果は、約1.5 μm 以下の膜を測定する場合、従来の厚膜測定法を使うのは不適切であることを改めて示しました。

膜厚解析 vs. 分光測光法ならびに偏光解析法

膜厚解析 (HCF) と分光測光法ならびに偏光解析法の比較を行うため、フォトレジスト標準器を使い、さらなる実験を行いました (表2)。

表2: 膜厚測定法の比較⁽⁶⁾

試料	シリコン上のフォトレジスト		
分光測光法 (μm)	1.085	1.272	1.477
偏光解析法 (μm)	1.088	1.279	1.481
膜厚解析 (HCF) (μm)	1.083	1.274	1.479

表2の結果は、CCI HDを使った膜厚解析と従来型の測定法との間に強い相関があることを明確に示しています。

結論

走査型白色干渉計 (SWLI) は、約1.5 μm 以上の厚みを持つ膜の測定手段として定着しています (厚膜分析)。

新しい膜厚解析法は、コヒーレンス相関干渉計とあわせ、50 nm弱までのフォトレジスト膜の膜厚ならびに均一性を迅速かつ正確に測定するための理想的な測定方法です。こうした測定によって、フォトレジスト膜の露光を調整することが可能になり、正確なパターン転写ならびに高品質製品の生産が保障されます。

References

- 1 A. Bankhead et al, Interferometric Surface Profiling, GB2390676, 2004
- 2 Mansfield D, 'Thin Film Extraction from Scanning White Light Interferometry', Proc. of the Twenty First Annual ASPE Meeting, Oct 2006
- 3 Mike Conroy, "Measurement of thin films and interfacial surface roughness using SWLI", Proc. SPIE 6884, 688408 (2008)
- 4 Daniel Mansfield, "Extraction of film interface surfaces from scanning white light interferometry", Proc. SPIE 7101, 71010U (2008)
- 5 The standard deviation (σ) for both thick film and film thickness analysis was calculated by means of 20 measurements
- 6 The authors acknowledge CREST of Loughborough University for their ellipsometry measurement results.



Taylor Hobson UK
(Global Headquarters)
PO Box 36, 2 New Star Road
Leicester, LE4 9JD, England
Tel: +44 116 276 3771
taylor-hobson.sales@ametec.com



Taylor Hobson France
Tel: +33 130 68 89 30
taylor-hobson.france@ametec.com



Taylor Hobson Germany
Tel: +49 611 973040
taylor-hobson.germany@ametec.com



Taylor Hobson India
Tel: +91 80 67823200
taylor-hobson.india@ametec.com



Taylor Hobson Italy
Tel: +39 02 946 93401
taylor-hobson.italy@ametec.com



Taylor Hobson Japan
Tel: +81 36809 2406
taylor-hobson.japan@ametec.com



Taylor Hobson Korea
Tel: +82 31 888 5255
taylor-hobson.korea@ametec.com



Taylor Hobson China Beijing Office
Tel: +86 10 8526 2111
taylor-hobson.beijing@ametec.com



Taylor Hobson China Shanghai Office
Tel: +86 21 58685111-110
taylor-hobson.shanghai@ametec.com



Taylor Hobson Singapore
Tel: +65 6484 2388 Ext 120
taylor-hobson.singapore@ametec.com



Taylor Hobson USA
Tel: +1 630 621 3099
taylor-hobson.usa@ametec.com