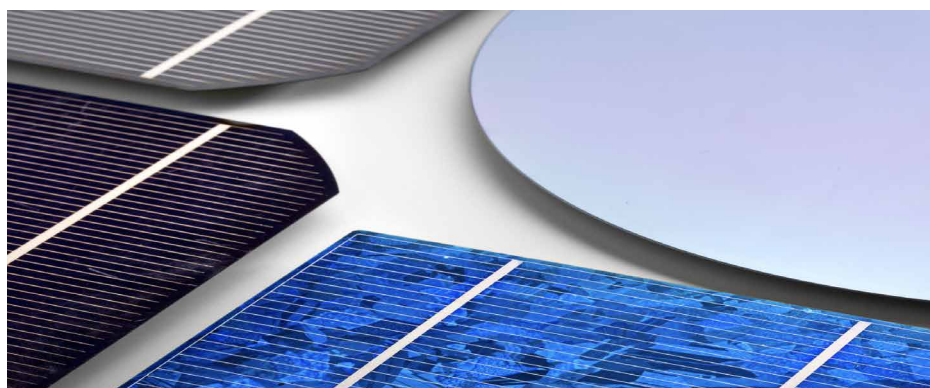


膜付光学ウエハの分光光度空間 プロファイリング

完全に自動化されたサンプルハンドリングによる大型サンプルの
効率的なハンドリングと複数の UV-Vis-NIR 反射率測定



著者

Travis Burt

Fabian Zieschang

Agilent Technologies, Inc.

本研究の一部が掲載された 文献:

Burt, T.; Zieschang, F. Optical Coating Uniformity of 200 mm (8") Diameter Precut Wafers. *Optical Interference Coatings (OIC) OSA Meeting, USA, 2016.*

はじめに

競争力のある光学薄膜コーティングの開発では、費用対効果の高い分光特性解析を頻繁に行うことが重要です。完全に自動化された無人の分光測定は、分析あたりのコストを低減し、生産性を高め、品質保証プログラムを強化するのに役立ちます。製造プロセスでは、通常はフル稼働する蒸着チャンバで、円形の大型基板ウエハがコーティングされます。ウエハを切断する前に、効率的で生産性の高い光学特性解析ツールを用いて、ウエハ表面全体のユーザー定義ポイントで測定し、正確かつ有意義な情報を得る必要があります。Cary 7000 多角度可変自動測定分光光度計 (UMS) および多角度可変自動測定アクセサリ (UMA) 用に設計された Agilent ソリッドオートサンプルは、直径 200 mm (8") までのサンプルをマウントし、UV-Vis および NIR スペクトル範囲で角度絶対反射率および透過率データを収集できます。

Cary 7000 UMS をオートサンプラとともに使用した場合の性能はこれまで、32x サンプルホルダにマウントした複数のサンプルの自動化無人分析 (1) や、酸化亜鉛スズ (ZTO) レイヤーの線形エネルギーバンドギャップ勾配の空間マッピング (2) に関して実証されています。本研究ではオートサンプラを備えた Cary 7000 UMS を使用して、直径 200 mm のウエハ全体のコーティングの均一性について自動角度分解マッピングを行った結果について報告します。

実験方法

機器とサンプル

Cary 7000 UMS UV-Vis-NIR 分光光度計 (図 1) は、250 nm ~ 2500 nm の波長範囲で多角度光度分光 (MPS) 測定を行うように設計されています。MPS アプリケーションでは、サンプルの絶対反射率または透過率が、垂直に近い入射から斜入射までの広範囲の入射角で測定されます (3)。MPS のデータは、複雑な薄膜のリバースエンジニアリング (4) や、誘電体薄膜の全損失での振動に関するより深い知見の獲得 (5)、コーティング製造ステップで適用されるリバースエンジニアリング戦略の改善 (6) に役立つことが示されています。

UMA のシンプルでありながら広い用途を対象とした設計により、オペレータの介入なしに、サンプルと検出器を互いに独立して任意の角度に位置決めできます。UMA は、単一のシーケンスで、 $5^{\circ} \leq |\theta| \leq 85^{\circ}$ の範囲のさまざまな入射角 (θ) (ここにビーム法線の両側の角度をそれぞれ +/- として表します) で、サンプルの表面のまったく同じパッチから透過データと反射データの両方を取得します。ナノワイヤグリッド技術に基づく自動ポラライザを追加すると、S、P、またはユーザー指定の任意の偏光角で正確な測定値を取得できます。

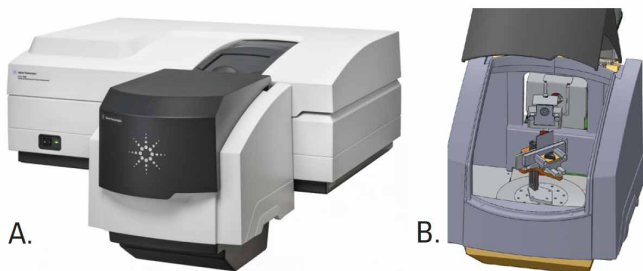


図 1. A. Agilent Cary 7000 UMS。B. Cary 7000 UMS に搭載された多角度可変自動測定アクセサリ。UMA は、絶対反射率、透過率、散乱率の分析が可能な真のマルチモーダル測定システムです。

Cary 7000 UMS の核となる Cary 多角度可変自動測定アクセサリ (UMA) は、Cary ファミリーの既存の UV-Vis-NIR 分光光度計、特に 4000、5000、および 6000i にも組み合わせることができます。

オートサンプラ

Agilent ソリッドオートサンプラは、UMA で動作するように特別に設計された独立制御のサンプルホルダです。オートサンプラは、サンプルステージの回転軸上にある大型 UMA サンプルチャンバー内に取り付けます。このように、オートサンプラは UMA の基本機能を制限することはありません。むしろ、サンプル位置の自由度を 2 つ追加することにより、測定機能を強化します。図 2 に示すように、これらの追加の自由度は、入射ビーム軸 (I_0) を中心とした半径方向 (z) および回転方向 (ϕ) です。サンプルのタイプに応じてさまざまなサンプルホルダを使用すると、複数の個別サンプル (最大 32 x 直径 1 インチ) または単一の大型サンプル (最大直径 200 mm、8 インチ) を取り付けられます。Agilent ソリッドオートサンプラは、大規模な光学部品のセット (バッチ) の光学特性評価や、実用的な分解能限界である 2 mm x 2 mm までに至る大型サンプルの空間マッピングにおいて、Cary 7000 UMS の理想的な性能向上を実現します。

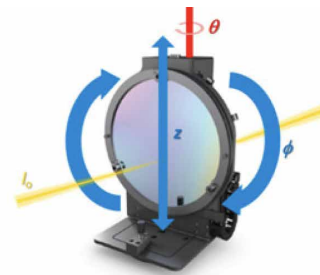


図 2. 入射ビーム I_0 に関する Agilent ソリッドオートサンプラの MPS (θ , ϕ , z) 座標系

サンプルホルダ

8 インチの円形サンプルホルダは、サンプルをオートサンプラにしっかりと固定します。サンプルホルダがサンプルに接触するのは、縁にある 3.0 mm のリングと 3 つの (取り外し可能な) スプリング式クランプだけです。これらのクランプは、サンプルとの接触を最小限に抑え、サンプルの完全性を保護します。これは、繊細な最終製品やコーティングされたブリカーサにとって非常に重要です。



図 3. ソリッドオートサンブラに装着する8 インチのサンプルホルダに取り付けられた直径 200 mm のプレカットウエハ



図 4. Agilent ソリッドオートサンブラが装着され、直径 200 mm のコーティングされたウエハを保持している Cary 7000 UMA サンプルコンパートメントの正面図

測定限界の決定

マッピング実験の前に、中心位置から 90 ~ 95 mm の距離において 1 mm 刻みで透過率を記録し、光学的に半径方向の測定限界を決定しました (図 5)。半径 95 mm の位置で透過率が低下しているのは、サンプルホルダの内輪が測定ビームを遮り始める測定限界を示しています。ビームが遮られないように、すべてのプロファイルで最大測定ポイントを半径 94 mm に設定しました。ウエハ上の光学干渉コーティングは、基板全体を覆うわけではありませんが、ウエハの端から約 3 mm の場所まで到達しています (図 5)。

つまり、ソリッドオートサンブラを使用して、コーティングされたウエハ表面全体の 94 % を高い信頼性をもって測定できたことを意味します。



図 5. 左：90 mm から 95 mm まで 1 mm 刻みで測定し、測定可能な最大エッジポイントを確認しました。95 mm での透過率の低下は、ビームがサンプルホルダの端をクリッピングしていることを示しています。右：コーティングはウエハの端から 3 mm の場所まで到達しています。

反射スペクトル

Cary 7000 UMS は、 5° から 85° までのさまざまな入射角で測定を行えますが、ここでは 7° (ほぼ垂直) を選択しました。角度を大きくすると、サンプル表面のビームパッチサイズが広がり、マッピング中の空間分解能が低下するためです。(調整可能な) 入射ビームコーンの角度を水平 3° と垂直 1° に設定し (サンプルの回転は垂直軸を中心に行われます)、4 nm のスペクトルバンド幅を使用しました。

これらのパラメータにより、約 5.0 mm x 1.5 mm (高さ x 幅) のビームパッチが得られます。これは、オートサンブラのステップサイズ解像度 (ビーム軸を中心に垂直方向および回転方向に 0.5 σ ステップ) よりもわずかに大きくなります。

表 1. 図 4 に示す反射スペクトルを取得するために使用した Agilent Cary 7000 UMS の測定条件

パラメータ	設定値
入射角	7°
波長範囲	2500 ~ 250 nm
データ間隔	UV-Vis 1.0 nm、NIR 4.0 nm
スペクトルバンド幅	UV-Vis 4.0 nm、NIR 4.0 nm
信号平均化時間	0.5 秒
偏光	s 偏光
入射ビーム開口部	$3^{\circ} \times 1^{\circ}$ (垂直方向 x 水平方向)
ベースライン補正	100 % T

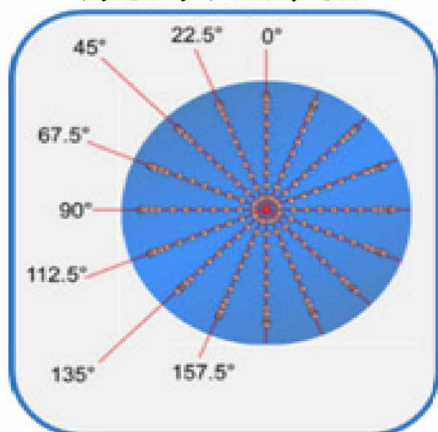
ウエハのプロファイリング

コーティング表面の光学的特性解析のために、表 2 に示すマッピングプロフィールに従ってサンプルを動かすようにオートサンプラを設定しました。マッピングプロフィールは、 $\Phi = 22.5^\circ$ の角度分解能で、ウエハの直径を通る 8 つの弦で構成されます。各弦には、5 mm 間隔の 27 の空間ポイントに加えて、92 mm と 93 mm のエッジ方向にステップ間隔の小さな 2 つのポイントが設定されています。すべての測定ポイントで分析波長にわたって間隔の短い波長スキャンを実行するように、Cary 7000 UMS を設定しました。準備を整えたらその後は、Cary 7000 UMS とオートサンプラが連携して（完全に自動化されて）、目的のデータセットを収集しました。

表 2. ウエハプロファイリング実験に適用したマッピングプロフィールと収集条件

チューニングパラメータ	設定値
入射角	7°
波長範囲	1065 ~ 1063 nm
データ間隔	1.0 nm
スペクトルバンド幅	4.0 nm
信号平均化時間	1 秒
検出器	シリコンフォトダイオード (検出器の変更は手動設定)
偏光	S 偏光および P 偏光
入射ビーム開口部	$3^\circ \times 1^\circ$ (垂直方向 x 水平方向)
ベースライン補正	100 % T + 0 % T

マッピングプロフィール



結果と考察

図 6 は、コーティングされたウエハの UV (250 nm) から NIR (2500 nm) までの s 偏光反射スペクトルを示したものです。ウエハの中央は、コーティングの品質が最も優れていることが期待できる場所であるため、ウエハの中央のスポットからスペクトルを取得しました。このスペクトルは、950 nm から 1150 nm の狭いバンドパスにおいて、1064 nm 付近の反射率が 99 % を超えており、光学干渉コーティングの設計意図を明確に示しています。

マッピング実験では、Cary 7000 UMS とオートサンプラを使用し、表 2 に示すマッピングパターンに従って、s 偏光と p 偏光の 1064 nm におけるウエハの反射特性を収集しました。図 7 は、1064 nm の反射率を、中心から測定点までの距離に対してプロットした、マッピングプロフィールです。これらのプロフィールは、s 偏光と p 偏光の両方で、ウエハの中心から端に向かって反射率が減少していることを示しています。個々のプロフィール間の高い類似性と一貫性は、ウエハの光学的輪郭が中心対称であることを示しています。90° 弦上の直径 80 mm および、67.5° 弦上の 85 mm における R_s と R_p 両方の外れ値は、その後の目視検査によって、ウエハ表面の汚染に直接起因している可能性があることがわかりました。

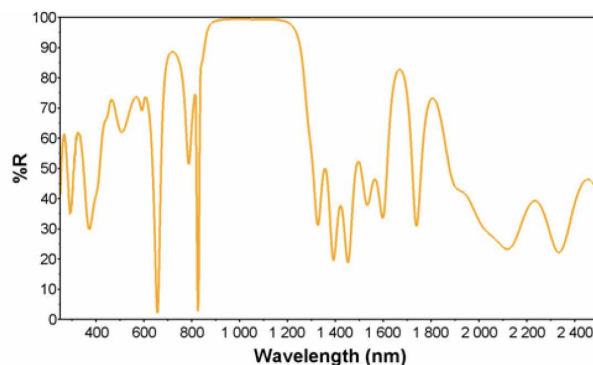


図 6. 7° の入射角におけるウエハ中心の R_s スペクトル

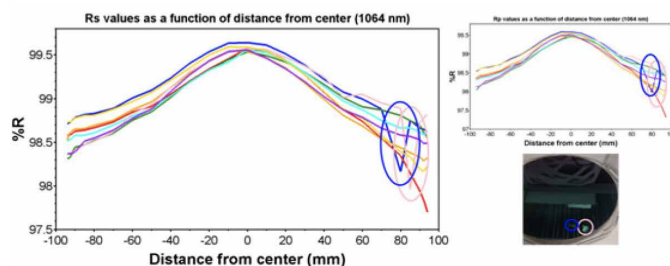


図 7. 1064 nm でのマッピングプロフィール (% R_s : 左、および % R_p : 右上)

ウエハの中心位置は各弦の一部として繰り返し測定されます。このデータを使用して測定の再現性を推定しました (図 8)。マッピング実験の時間経過 (約 6.5 時間) にわたり <0.1 % の再現性が達成されました。これは、中心と端のポイント間で見られる %R の差 (最大 1 %) よりも約 10 倍優れています。この結果は、Cary 7000 UMS の長期的な安定性を示すだけでなく、提示されたプロファイルの重要性を強調するものです。

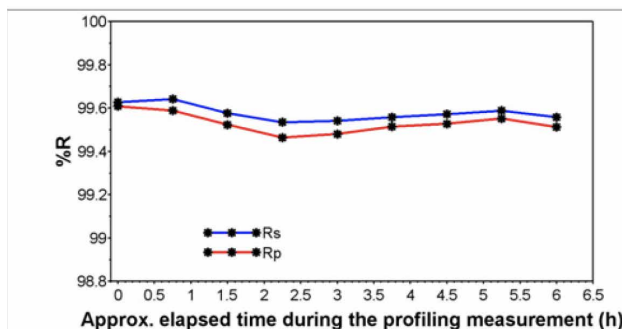


図 8. マッピング実験中のシステムの経時的な変動

結論

本研究では、Agilent Cary 7000 UMS とソリッドオートサンブラを使用して、直径 200 mm のプレカットウエハ全体のコーティングの均一性を解析しました。

システムは、ウエハの表面全体にわたりユーザー定義のパターンで 1064 nm を中心とする %R 測定を行うように設定しました。結果として得られたプロファイルから、ウエハの端に向かってコーティング品質が低下していることが明らかになりました。この知見は、コーティングプロセスの潜在的なばらつきを見つけ、それを解決するために使用できます。

ホームページ

www.agilent.com/chem/jp

カスタムコンタクトセンター

0120-477-111

email_japan@agilent.com

本製品は一般的な実験用途での使用を想定しており、医薬品医療機器等法に基づく登録を行っておりません。本文書に記載の情報、説明、製品仕様等は予告なしに変更されることがあります。

アジレント・テクノロジー株式会社
© Agilent Technologies, Inc. 2020
Printed in Japan, March 13, 2020
5991-7530JAJP
DE.6872222222

このマッピング解析は、品質管理に使用することができます。また、開発プロセスに実装して、歩留まりを最大化し、無駄と投資を最小化することにも利用できます。

このアプリケーションノートでは、幅広い産業や実験室アプリケーションにおける光学材料および、コーティング、コンポーネントの自動ルーチン多角度分光特性解析に利用できる Cary 7000 およびソリッドオートサンブラの広範な機能について、実際の例を用いて示しました。

参考文献

1. Burt, T.; Haq, F. High volume optical component testing using Agilent Cary 7000 Universal Measurement Spectrophotometer (UMS) with Solids Autosampler, Agilent Technologies, publication number 5991-4071EN, 2005.
2. Burt, T.; Haq, F. Coated wafer mapping using an Agilent Cary 7000 Universal Measurement Spectrophotometer (UMS) with Solids Autosampler. Agilent Technologies, publication number 5991-4072EN, 2014.
3. Death, D.L.; Francis, R.J.; Bricker, C.; Burt, T.; Colley, C. The UMA: A new tool for Multi-angle Photometric Spectroscopy. Optical Interference Coatings (OIC) OSA Topical Meeting, Canada, 2013.
4. Tikhonravov, A.V.; Amotchkina, T.V.; Trubetskov, M.K.; Francis, R.J.; Janicki, V.; Sancho-Parramon, J.; Zorc, H.; Pervak, V. Optical characterization and reverse engineering based on multiangle spectroscopy. *Appl. Opt.* **2012**, 51, 245-254.
5. Amotchkina, T.V.; Trubetskov, M.K.; Tikhonravov, A.V.; Janicki, V. J.; Sancho-Parramon; Razskazovskaya, O.; Pervak, V. Oscillations in the spectral behavior of total losses (1 - T - R) in the dielectric films. *Opt. Exp.* **2012**, 20, 16129-16144.
6. Amotchkina, T.V.; Trubetskov, M.K.; Tikhonravov, A.V.; Schlichting, S.; Ehlers, H.; Ristau, D.; Death, D.; Francis, J.J.; Pervak, V. Quality control of oblique incidence optical coatings based on normal incidence measurement data. *Opt. Exp.* **2013**, 21, 21508-21522.