

# 「完全な」干渉コーティングの開発を牽引するソフトウェア

ジェニファー・D・T・クルシュヴィッツ

光学コーティングの設計ソフトウェアの検討は、それぞれのソフトウェアパッケージに使われているいくつかの強力な数値解析から始まるであろう<sup>(1)</sup>。ソフトウェアパッケージには複素合成や修正法が組み込まれているため、ユーザの多くはソフトウェアパッケージを信頼していると主張する。一方で、彼らの製造装置で生産するにはあまりにも複雑なものが設計されると主張することもある。ユーザはどのようにして合成プロセスを止めるタイミングを知るのだろうか？ 設計者は絶対ゼロに近いメリット関数を使うことで、ユーザのニーズを満足し、生産現場で反復して使える設計を製作できるのだろうか？

ソフトウェア開発者は、修正と合成のレベルが強力で、使いやすいインターフェイスが組み込まれ、スペクトル特性データの導入や計算結果のプリントアウト機能をもつソフトウェアの開発に注力してきた。ごく最近の開発は

複雑設計による生産可能性のユーザ評価を支援する環境の創成に移行している。コーティング工場は生産の再現性が第一の優先順位になるため、そこでは概念設計用の効率のよい評価ツールへの要求が増大している。

## 特性評価法

設計性能の理解には設計に用いる材料の光学的性質を効率よく特性評価する方法が必要になる。分散情報のない材料を使用することは生産的でなく、そのようなことは初心者への基本設計理論の教育の場合に限られる。設計レイヤーの光学的性質を厳密に理解すると、実際の性能をソフトウェアの枠内で把握することが可能になる。ソフトウェアパッケージの多くは、少量の吸収をもつ誘電材料を評価できる分散モデルを採用している。コーティング工場はエレクトロクロミクス、透明導体、金属結合層などの新しい材料を使用した設計

を開始し、それらの加工を最適化して、水による吸収の少ない材料やUV透過率の大きな材料を生産している。したがって、屈折率と吸収の鋭い変化の特性を評価できるモデルが必要になる。

$n(\lambda)$  と  $k(\lambda)$  を参照する二つの新しい分散モデルは、非常に薄い金属層などの材料に生じる屈折率と消光係数の鋭い変化の特性を評価できる(図1)<sup>(2)</sup>。これらのモデルは伝統的な誘電材料のUV吸収端、3~5 $\mu\text{m}$ 領域の水の吸収および8~14 $\mu\text{m}$ 領域のレズラーレン帯を特性化できる。 $n(\lambda)$  と  $k(\lambda)$  のモデルは空気中の単層膜ばかりでなく、後処理した多層膜の分析にも適用できる。ニッケルクロム(NiCr)などの材料の結合層は多層膜に埋め込まれると、空気中のNiCr単層膜とはまったく異なる光学的性質を示す。設計者は周囲の層の光学的性質と厚みの十分な情報を取得することで、多層膜の全体の反射および透過スペクトル性能に

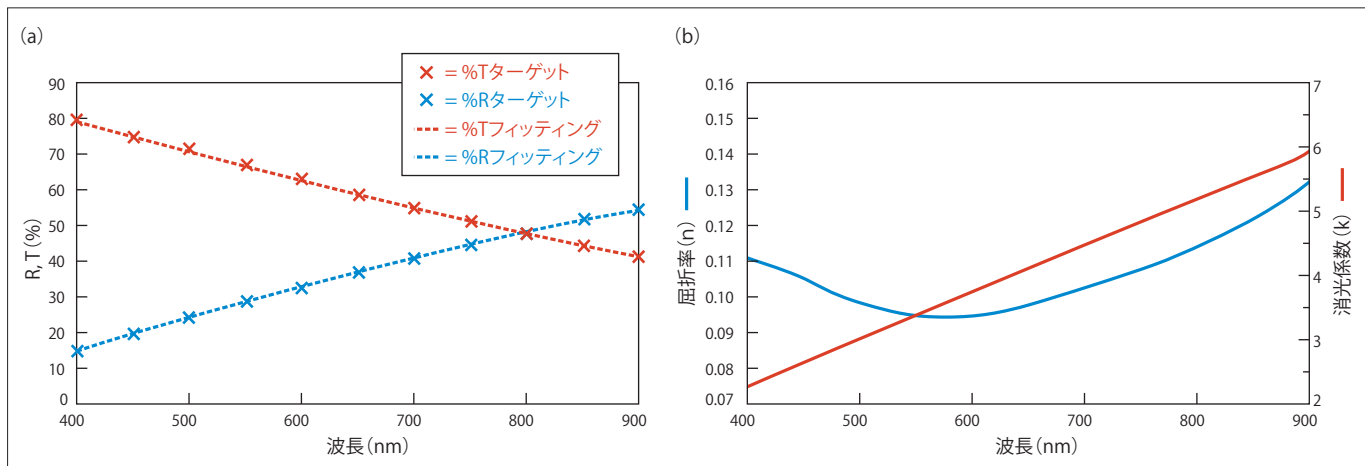


図1 10nm厚の銀膜の反射および透過特性を示している(a)。ここでxは測定データ、点線はフィッティングデータ。この非常に薄い層の屈折率と消光係数の分散モデルも示している(b)。

もとづく NiCr 薄層の光学的性質をリバース・エンジニアリングで分析できる。

### 複雑さの低減

ほとんどの生産工程は多層膜の物理的厚み、全体の層数、すべての単層の最小厚みなどが限定される。Needle 法や Gradual Evolution などの合成アルゴリズムは、薄層の付加や全体の光学厚みの増加を利用して、メリット関数の絶対最小値を見いだす。設計者は実現可能な最小のメリット関数に到達すると、層数の削減、薄層厚みの増加、相対的に厚すぎる層の削減を決定し、さらに再調整して、必要なパラメータを満足できる設計を行なう。Design Cleaner と呼ばれる設計合成ツールを使用すると、伝統的な合成法により得られた適切なメリット関数を用いることで、メリット関数の増加を抑えながら、設計の層数と全体の物理的厚みを自動的に削減できる<sup>(3)</sup>。このようにして、ソフトウェアは生産工程の自動設計を性能の犠牲なしに行なっている。

### 光学モニタリング法の特定

単色光のモニタ装置は多数のコーティングシステムに使用され、各層を4分の1波長の光学厚みの整数倍で設計する光学コーティングでは、伝統的な「ターニングポイント」光学モニタリングが主流の方法として使われてきた<sup>(4)</sup>。単一チップを用いて4分の1波長の光学厚みではないコーティングを設計するときは、最高感度の波長を選択するモニタリング法が多用されてきた。この場合、設計を始める層の小さな厚みの誤差が全体厚みの誤差に対して大きな累積効果を及ぼし、設計のスペクトル性能の悪化をもたらす。

この事実が全体の厚み誤差の低減を可能にする新しい光学モニタリング手

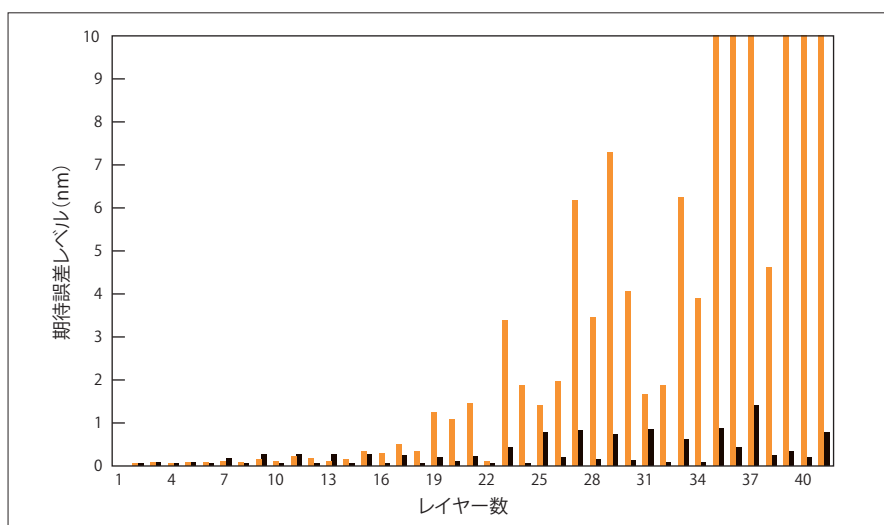


図2 従来の光学モニタリング法を用いたホットミラーの推定厚み誤差レベル(オレンジのバー)と累積厚み誤差の最小化を目的にした方法(黒のバー)の比較を示している。後者の方法は設計による全体厚み誤差が減少している。

法の開発をもたらした。この方法はコーティングのすべての工程に適用できる(図2)。

### 生産の誤差と歩留り

コーティング生産の世界は、より複雑な光学膜の判定基準を満足する設計を開発して、競争を続けなければならない。そこでは競争可能な販売価格を予測するための歩留りの決定も重要になる。ソフトウェアの枠内で複雑設計の多数の試験成膜を行なうための仮想コーティング装置が作成された。このソフトウェアは顧客の要求性能にもとづいて、実際の試験成膜の必要性を軽減し、設計者による歩留りの決定能力を強化する<sup>(5)</sup>。広帯域と単色光のい

ずれのモニタリングシミュレーションであっても、材料の蒸着速度やモニタ装置の感度などが入力された仮想装置を使用し、数百から数千回の試験成膜を行なうことで、ユーザはいくつかの設計を試行できる。このソフトウェアは設計の反射色と透過色ばかりでなくスペクトル性能もくり返し評価して、設計者による歩留りの決定を支援する。

設計ソフトウェアは20年以上にわたり、最も複雑な設計問題を解決できる合成ツールが開発されてきた。ごく最近の関心は設計者による材料特性評価を支援するための計算能力の利用に移行している。そこでは複雑な設計がすべての生産工程に適合するように変換され、潜在的な歩留りの情報も算出される。

### 参考文献

- (1) J.A. Dobrowolski, Opt. & Photon. News, 8, 6, 24-32(1997).
- (2) T. A motchkina et al., Appl. Opt., 50, 1453-1464(2011)
- (3) A. Tikhonravov, M. Trubetskov, and I. Kashahara, IEICE Trans. Electron., E91-C, 1622-1629(2008).
- (4) H.A. Macleod, Optica Acta, 19, 1-28(1972).
- (5) A. Tikhonravov, M. Trubetskov, T. Amotchkina, and V. Pervak, Appl. Opt., 50, C141-C147(2011).

### 著者紹介

ジェニファー・D・T・クルシュヴィッツ(Jennifer D. T. Kruschwitz)は米JKコンサルティング(JK Consulting, Rochester, NY)の代表およびロチェスター大学(University of Rochester)とアリゾナ大学(University of Arizona)の助教授。e-mail: jkconsult@kruschwitz.com