

# RGB 画像を用いた薄膜物体の形状と色彩の推定

## Acquiring Shapes and Appearance of Thin Film Objects Using RGB Images

○小林由枝<sup>1)</sup>, 森本哲郎<sup>2)</sup>, 佐藤いまり<sup>3)</sup>, 向川康博<sup>4)</sup>, 友野孝夫<sup>2)</sup>, 池内克史<sup>1)</sup>  
○Yoshie Kobayashi<sup>1)</sup>, Tetsuro Morimoto<sup>2)</sup>, Imari Sato<sup>3)</sup>, Yasuhiro Mukaigawa<sup>4)</sup>, Takao Tomono, Katsushi Ikeuchi<sup>1)</sup>

東京大学<sup>1)</sup>, 凸版印刷株式会社<sup>2)</sup>, 国立情報学研究所<sup>3)</sup>, 奈良先端学術技術大学大学院<sup>4)</sup>

E-mail: {ki.yoshie}@cvl.iis.u-tokyo.ac.jp, {tetsuro.morimoto, takao.tomono}@toppan.co.jp, imarik@nii.ac.jp, mukaigawa@is.naist.jp

簡便な手法による非平面薄膜物体の形状と色彩の取得は工業製品検査、生物学的解析、考古学など様々な分野へ応用が期待される。しかし、非平面薄膜物体の色彩は光源・視線方向に著しく変化するため、形状の取得は困難となる。本稿では非平面薄膜物体への反射偏光特性に着目し、RGB カメラを用いた形状と色彩の取得手法の提案とその有効性を示す。

### 1. はじめに

実物体の形状および色彩の復元は、コンピュータビジョン (CV) やコンピュータグラフィックス (CG) 分野において重要な課題である。実世界の物体は拡散、鏡面、等方・異方性反射、散乱、屈折、干渉といった様々な反射特性を持ち、中でも干渉は、光源・視線方向に対してその色彩が著しく変化するため、扱いが難しい。

CG 分野では、干渉の物理モデルを用いてレンダリングする手法が提案されてきたが、それらは、屈折率や膜厚といった光学パラメータを手動で設定する必要がある。光学分野では、屈折率や膜厚を推定する分光干渉法やエリプソメトリなどが提案されてきた。Kitagawa[1]は、膜厚に対する RGB 値がコサインカーブを描くことを利用した画像ベースの膜厚推定手法の提案を行った。しかし、これらの手法はシリコンウェハの成膜検査を目的としており、複雑な立体形状を持つ物体には適していない。Kobayashi ら[2]は薄膜物体の複雑な形状と色彩を取得する手法の提案を行ったが、スペクトル画像を用いているためデータ量が大きく計算コストも高い。

本研究では RGB 画像のみを用いて薄膜物体の形状と光学パラメータである膜厚の推定を行う手法の提案を行う。物体の形状は、偏光解析を元に天頂角に対する輝度値の変化を用いた。また、シミュレーションにより得られる色変化と観察される色彩を対象の形状に沿って比較し、最適な膜厚の推定を行った。本研究の主なコントリビューションを3つ述べる。1つ目は、本手法では高価なスペクトルカメラではなく、一般的な RGB カメラを用いて簡便性を追求している点である。2つ目は対象物体の形状と膜厚を同時に推定するアルゴリズムを考案した点である。3つ目は効率的に計測可能な装置(図1)を開発した点である。

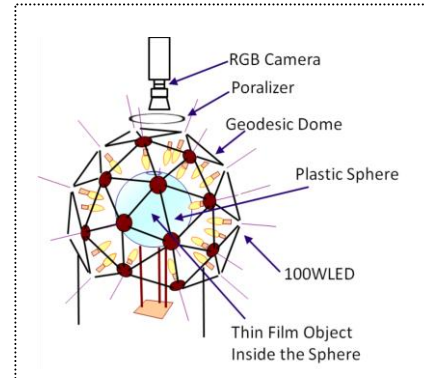


Fig1 薄膜物体の反射率計測装置

### 2. 手法

本手法は図1の装置を用いて、プラスチック球の中心に対象物体を配置し、カメラの前に装着された偏光板を回転させながら画像を撮影することで計測を行う。このようにして得られた入力画像を用いて形状と膜厚を推定する。まず、形状推定では天頂角と方位角を推定する。天頂角の推定には薄膜特有の特徴を2つ用いた。薄膜の反射は正反射のときのみ色が観測されるため、鏡面反射と同様の偏光度が薄膜にも適用され、偏光度により天頂角の候補を2つに絞ることが出来る。つぎに天頂角に対する反射光の垂直偏光の輝度値を用いることで解を定める。方位角は、反射光の垂直偏光と方位角が平行になることを利用し、推定を行う。

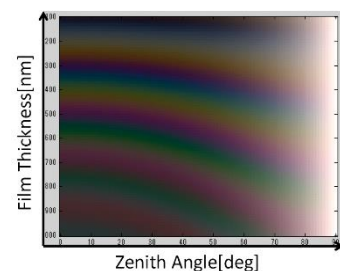


Fig2 膜厚色変化の LUT

次に膜厚については下地と対象の屈折率が既知であるという条件において、天頂角が既知であれば、任意の膜厚に対する色変化をシミュレーションすることができる。このため、薄膜モデル式から色の変化を

図2のようなルックアップテーブル (LUT) として計算し、観測される RGB との誤差を最小化することで膜厚を推定した。このとき、図のように色の変化は繰り返し現れ曖昧性がある。そこで色がスムーズに変わること、また膜厚範囲をある程度想定できるという拘束条件を用いて最適な解を求めた。

### 3. 実験結果

本実験では、下地の屈折率 1.6 の円筒形 PET 素材に  $MgF_2$  (膜厚: 400nm) が蒸着された物体と下地の屈折率 1.5 の四角錐 ABS 素材に  $MgF_2$  (膜厚: 630nm) が蒸着された物体を用いた。

図3は天頂角推定結果の真値 (左)、推定結果 (中)、誤差 (右)、図4は法線推定の結果を示す。天頂角の平均推定誤差は円筒形物体で約  $4^\circ$ 、四角錐物体で約  $3^\circ$  となった。これらの画像からは主観的ではあるが十分な形状が得られていると考えられる。

次に図5に膜厚推定結果を示す。推定膜厚は両物体において滑らかに変化しているが、蒸着時に設定した値とは異なる値となっている。円筒形物体の推定膜厚は、蒸着機に設定された値より小さく、図6(a)のように左から右に向かって薄くなっている。四角錐物体でも同様に左から右に向かって薄くなり、設定値より大きな領域と設定値より大幅に小さい領域も生じている。これは蒸着時に物体を蒸着機の中心点から見てどの位置に置いたかに影響している。蒸着機は中心から離れるにしたがって同心円状に膜厚が薄く蒸着される。そのため、薄膜フィルムを丸めた円筒形物体は蒸着の際に平面であったことから、左から右に中心から離れたために膜厚が薄くなったと考えられる。四角錐物体では、蒸着時に四角錐の形状も影響し、各面において大きく膜厚が異なっていると考えられる。

### 4. まとめと今後の展望

本稿では RGB 画像を用いた薄膜物体の形状と色彩の推定手法について述べた。本手法により、RGB カメラを用いて薄膜物体の形状と膜厚を一意に決定することができる。また、薄膜物体の反射率を一度に計測することができる全方位光源環境を模した計測装置の開発も行った。装置で得られた実験結果は本手法の有効性を示した。

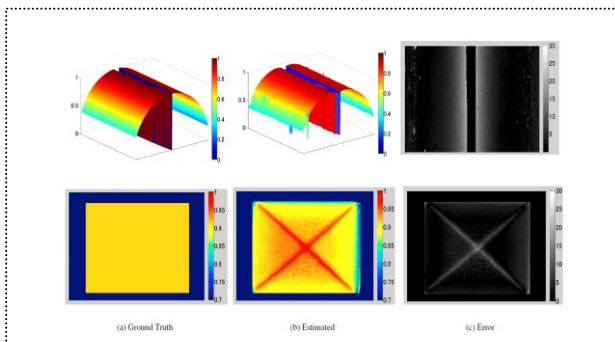


Fig3 天頂角の推定結果

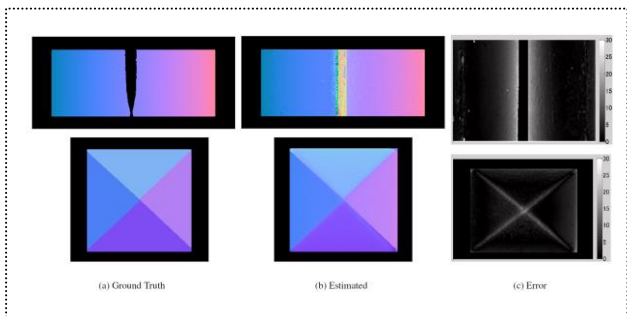


Fig4 法線の推定結果

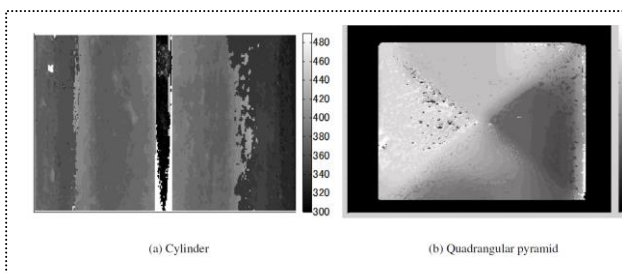


Fig5 膜厚の推定結果

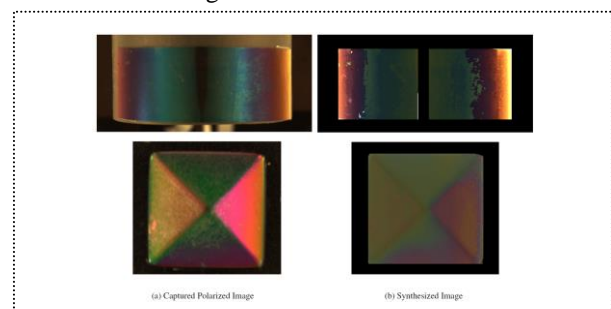


Fig6 (a)撮影画像(b)再構成画像

### 文献

- 1) K. Kitagawa. "Thin film thickness profile measurement by three wavelength interference color analysis," Appl. Opt., 52(10):1998-2007, Apr. 2013.
- 2) Y. Kobayashi, T. Morimoto, I. Sato, Y. Mukaigawa, and K. Ikeuchi. "Reconstructing shape and appearance of thin film objects with hyper spectral sensor," In Proceedings of ACCV, 429-506, Oct. 2014.