

スパッタリングを利用した加飾表面技術

高橋直貴^a

^a(株) JCU 総合研究所 (〒 215-0033 神奈川県川崎市麻生区栗木 2-4-3)

Decorative Surface Technology by Sputtering

Naoki TAKAHASHI^a

^aR&D Center, JCU Corporation(2-4-3, Kurigi, Asao-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa 215-0033)

Keywords : Decorative Sputtering, Sputter Coloring, Multi-Layer, Structural Color, Metallic Color

1. はじめに

近年は世界的に携帯電話，スマートフォン，デジタルカメラ，時計等の家電製品の普及が目覚しく，これらの装飾需要に応えるため既存技術の塗装やめっきとは異なる，発色が鮮やかなスパッタによるカラーリングプロセスを開発してきた。この内容については過去に本誌の特集で発表しているが¹⁾，継続的な開発の取り組みにより，バリエーション豊かな高級感のある色調を再現性良く安定的に作り出す技術を構築することができた。本稿ではカラーリング原理，カラーリング設計手法，カラーリング実例を紹介し，次に量産おける色調外観安定化の方法について説明する。

2. カラーリング

2.1 カラーリング原理

当社のカラーリングは図1に示すような反応性スパッタの成膜により多層膜を形成し，光の干渉効果により発色させている。図2(b)に示すように最下層へ反射膜(チタン，ステンレス，クロム等)を成膜する。次にターゲット材質(チタン，ニオブ，ジルコニウム，シリコン，クロム等)とガス(窒素，酸素，アルゴン等)を任意に組み合わせて光学定数(屈折率，

吸収係数)の異なる半透明膜な薄膜(厚さ数 nm ~ 百数十 nm)を図2(a)のように交互に積層する。

例えば鮮やかな青色とする場合には図2(b)のように光の反射ピークを450 nm 付近とし，おおよそ500 nm ~ 700 nm (緑~赤)の範囲の光を吸収する膜構成とする。ここで反射率を高くすると鮮やかなブルーとなり，逆に反射率を低く抑えると落ち着いたブルーとなる。このような反射光のスペクト

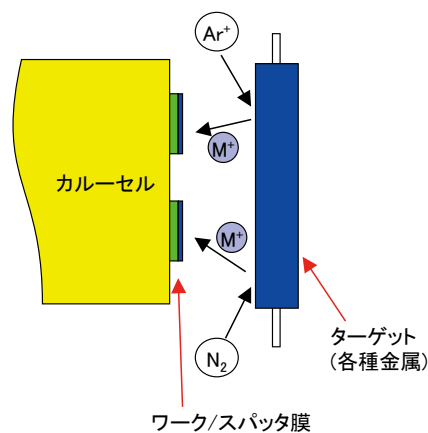


図1 反応性スパッタ成膜

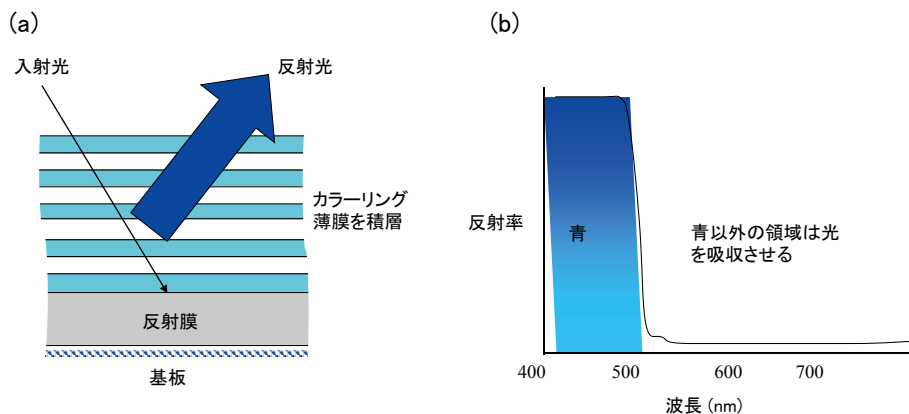


図2 カラーリング膜構成と反射光スペクトル

ル波形の制御はすべての可視光領域で可能であり原理的にはほぼ制限の無い発色が可能となる¹⁾。色調には金属光沢感があり例えば屋外では朝夕や天候の違い、屋内では照明環境の違いなど入射光の変化に合わせて反射光(色調)が微妙に変化し、従来の蒸着や塗装による手法では得られない深みのある発色となる。

2. 2 カラーリング設計手法

カラーリング設計では目標とする色調を効率よく実現するために、自社開発した光学膜シミュレーションソフトを使用している。このシミュレーションによる解析は事前にエリプソメータにより測定した各種スパッタ薄膜の光学定数(屈折率, 吸収係数), 層数, 膜種類, 膜厚のパラメータ入力が必要となる。シミュレーション解析の結果「可視光反射スペクトル波形」「可視光透過スペクトル波形」「D65 光源色調(室内光を近似)」「A 光源色調(太陽光を近似)」「RGB」「XYZ」「L*a*b*」の計算値が得られる。これらのデータを総合的に判断しながら膜設計をすることで目標色を効率良く得ることができる。図3にシミュレーション結果の一例を示す。

2. 3 カラーリング実例

ここではカラーリング成膜の実例を紹介する。

2. 3. 1 加工方法の異なる基板上へのカラーリング

ステンレス基板上にカラーリング成膜した多色サンプルを図4(a)に示す。基材は図4(b)の拡大写真のように左から順に「シボ・鏡面・ヘアライン」の加工を施している。鏡面は

反射率が高く色調が鮮やかとなり、ヘアライン面、シボ面では反射率が低く落ち着いた色調となる。このように同じカラーリング成膜でも基板の粗度や加工方法を変えることで色調を微妙に変化させることができる³⁾。

2. 3. 2 透明基板裏面へのカラーリング

ガラス又は樹脂等の透明な基板では図5(a)に示すように基板裏面にカラーリング多層膜を成膜後、最上層に反射膜を成膜すると図5(b)のように透明基板側からの発色が可能である。また、基板自体がカラーリング膜の保護層となり外装品としての使用が可能となる。また、図6(a)のようにマスクパターンとカラーリング成膜を繰り返すことで例えば図6(b)のような多色模様カラーリングも可能である。

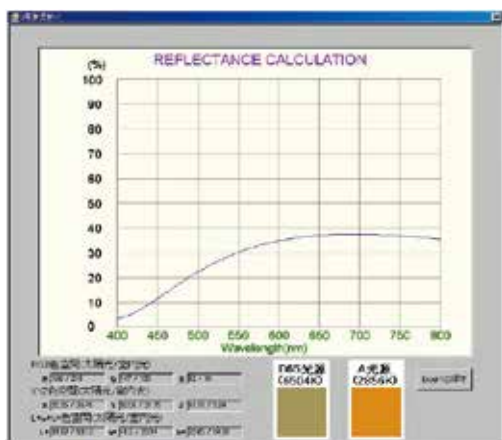


図3 シミュレーション結果



図4 SUS 表面へのカラーリング成膜サンプル

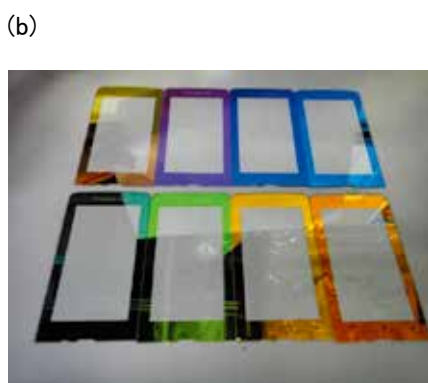
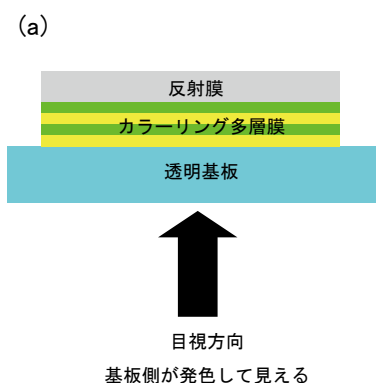


図5 透明基板裏面へのカラーリング成膜

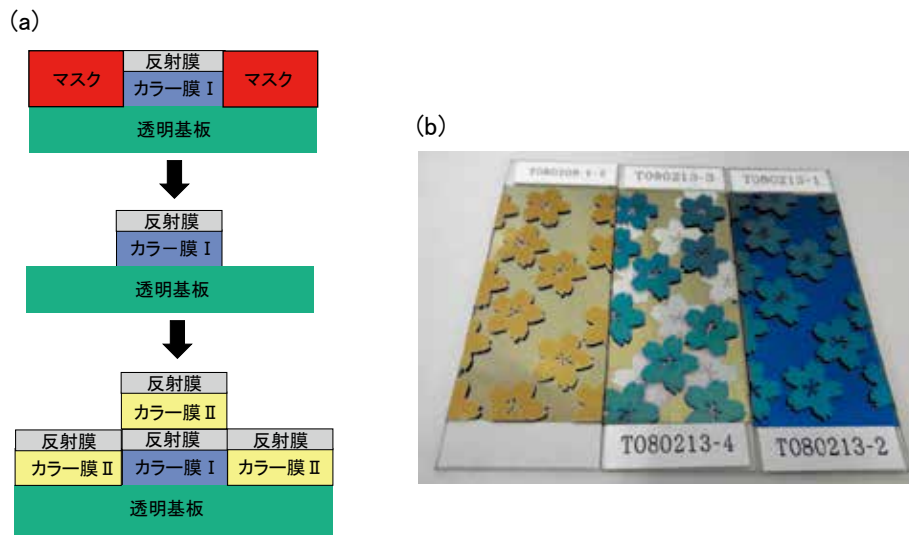


図6 透明基板裏面への多色模様カラーリング成膜



図7 同一基板上への多色カラーリング

2. 3. 3 同一基板上への多色カラーリング

本技術のように光の干渉効果を利用したカラーリングでは、同じ膜構成(膜材質・積層順番)であっても膜厚の違いにより色調が変化する。この特性を利用して補正板により基板上的スパッタ膜の付き回り厚さを調整することで成膜プロセスを変えことなく図7のように同一基板上での多色カラーリングが可能である。

3. 色調外観の安定化

本カラーリングは高級モデルに使われることが多く、特に色調外観に対して高品質を要求される。ここでは外観品質安定化のために必要な作業内容・環境整備等の技術について生産手順に沿って説明する。

3. 1 基板洗浄

基板側に起因する目視で判別できる傷や汚れは、カラーリング成膜後も隠蔽できずに外観不良となってしまうことが多い。これはカラーリング多層膜の合計膜厚が数百 nm と薄いためである。このため傷がある基板を除外し、更に大量の部品を効率的に洗浄するために脱脂洗浄・純水洗浄・超音波洗浄後の表面乾燥まで一連で処理できる自動洗浄乾燥システムにより洗浄を行っている。

基板表面に汚れや水跡を残さずに洗浄するには、純水の状態管理と水洗後の乾燥処理条件の最適化が重要であり、純水は規定の導電率で管理し、規定値を超えると装置パネル上に

アラームが発報する。基板の乾燥はトンネル型の乾燥炉を使用し温度と送り速度を最適化して汚れと水跡の発生を防止している。

3. 2 環境整備

本カラーリング技術は、真空プロセスであり周囲の温度・湿度の影響を受けやすくチャンバー内の雰囲気(水分吸着状態)が品質に影響を与える。従って、空調により温度・湿度が管理されたクリーンルーム内にスパッタ装置を設置し各種作業を行っている。

3. 3 成膜プロセス管理

3. 3. 1 成膜前処理プロセス

事前に洗浄済みの基板と色調評価用基板を装置処理室に設置した後、真空ポンプにより高真空領域まで排気し水分を十分に除去する。排気による水分除去が不十分であるとチャンパー内部に残留した水分がプラズマ中で分解し、発生したラジカル成分がスパッタ成膜に影響し屈折率や成膜速度が不均一となり色調に悪影響を与えてしまう。但し基板の耐熱温度が高い場合はチャンパー内に設置しているヒータ加熱により、チャンパー内水分の排出を促進することができ、成膜開始圧力までの到達時間を短縮することができる^{1),2)}。

また、密着性をより安定させるために成膜の直前には基板表面の洗浄を目的としたイオンガン等によるプラズマ表面処理を実施している。

3. 3. 2 カラーリング成膜プロセス

色調安定のためにはプラズマの安定放電が重要である。プラズマを安定させるためにプロセスガス投入量、基板-ターゲット間距離、ターゲット電力投入量などを最適化しプロセス条件を決定している。また、専用プログラムによる自動成膜を実施し人為的な操作ミスによる不良も防止している。

3. 4 完成品検査

カラーリング完了後は事前に投入した基準となる基板表面の可視光範囲反射光スペクトル波形(約 400 nm ~ 700 nm)を分光光度計により測定し、且つ量産部品全数の色調外観について限度見本を基準に目視による全数検査を行っている。常態時の良品率は約 95% 程度で、残りの不良 5% の内訳は基

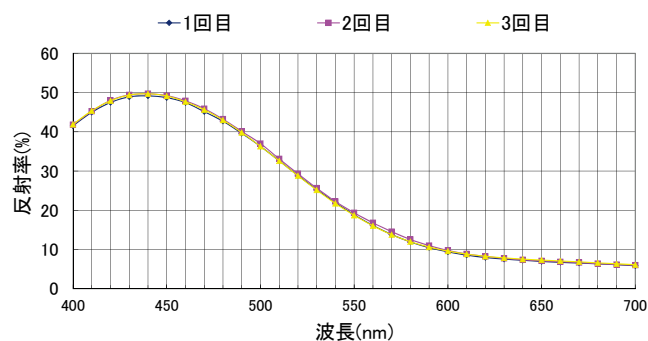


図8 カラーリング成膜後のスペクトル波形(3回)

板由来の僅かな傷やしみがカラーリングより強調されてしまうケースが多い。

色調再現性の一例として金属基板上に1日に1回のカラーリング成膜を3日間にわたり合計3回実施した結果のスペクトル波形を図8に示す。装置環境、前処理を管理した条件下で生産を行うと、反射光スペクトル波形の変化はわずかであり実際の製品でも目視で色調の違いを判断することは困難である。

4. 課 題

4.1 耐摩耗性の向上

本技術の最大の特徴はカラーリングの多彩性にあるが、より高い耐摩耗性を要求される外装品には使用できない場合が多い。現在、腕時計の内装品や高い耐摩耗性を必要としない一部外装品への採用に留まっており、すべてのカラーリング需要に応え切れていない。このため外装品への使用を目指し耐摩耗性の向上に取り組んでおり、最外層により硬質なス

パッタカラーリング膜を使用する方法や、CVD重合等により透明なハードコート膜を成膜する方法を開発評価中である。

4.2 生産時間の短縮化

本技術での成膜はそのほとんどが反応性モードによるもので成膜速度が遅く生産に時間を要している。成膜時間の短縮化による低コスト化を目指し、既に市販されている専用の自動制御コンポーネントを導入し、成膜速度の速い遷移モード成膜⁴⁾によるカラーリングプロセスの開発についても取り組む予定である。

5. おわりに

冒頭でも述べたスマートフォンを初めとした各種家電製品の分野では、各社製品間の特徴を出すためデザインの差別化に力を注いでいる。本カラーリング技術は本稿の2章で説明したように様々なカラーリング応用例が考えられ、デザインの差別化に対し非常に有効であると考えている。また、第4章で説明したような耐摩耗性の向上や低コスト化を実現できれば、本技術が更に世の中に広まってゆくと期待している。今後も市場のニーズに応えられるように技術開発に努めてゆく所存である。

(Received March 4, 2016)

文 献

- 1) 堀江邦明; 表面技術, 61, 737 (2010).
- 2) 黒田孝一; 表面技術, 61, 728 (2010).
- 3) 高橋直貴, 太田大助, 黄 海冷; JCUテクニカルレポート, 95 (2014).
- 4) 小島啓安; 現場のスパッタリング薄膜Q&A, p.74 (日刊工業新聞社, 2008).