

解説

J. Jpn. Soc. Colour Mater., 96 [9], 299-303 (2023)

—小特集 黒をめぐる最前線—

黒色反射防止コーティングのための新規黒色層材料の開発

石井 暁大^{*†}・山口 実奈^{*}・田中 聖^{*}・及川 格^{*}・山崎 雄亮^{**}・
伊村 正明^{**}・高村 仁^{*}

^{*}東北大学大学院工学研究科知能デバイス材料学専攻 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-02 (〒980-8579)

^{**}日本電気硝子(株)薄膜事業部 滋賀県長浜市高月町高月1979番地 (〒529-0292)

† Corresponding Author, E-mail: akihiro.ishii.a4@tohoku.ac.jp

(2023年4月25日受付, 2023年5月18日受理)

要 旨

電子ディスプレイの黒色部を美しく表現する技術として、可視光全域を強く、かつ、一定強度で吸収する黒色層を含む反射防止コーティングがある。しかし、既知の黒色材料は可視光吸収強度の顕著な波長依存性や表面粗さのため、黒色層として適切でない。そこで、黒色層に应用可能な薄膜材料を新規開発した。TiO_{2-δ}-NbO₂系およびTiO_xN_y系薄膜では、遍歴性電子およびバンド間遷移による可視光吸収が単一相で同時にバランス良く発現し、優れた黒色性が実現された。タッチパネルディスプレイにも应用可能な電気的に絶縁性の黒色薄膜材料としては、Ag-Fe₂O₃系薄膜を見いだした。これらの黒色膜および黒色絶縁膜を黒色層に用いた反射防止コーティングも作製できており、その製品化を目指している。

キーワード：光学薄膜、反射防止膜、無機黒色材料、電子ディスプレイ

1. はじめに

電子ディスプレイは薄く軽量で耐久性が高く比較的安価なことから、テレビやパソコン、スマートフォンなど日常生活のあらゆる場面で使用される。しかし、環境光の完全な遮蔽は困難なため、深い黒色や夜景など暗い画像の表現が難しい。この解決のために、黒色の領域や暗い画面を表示するタイミングでバックライトそのものの輝度を低下させる機構が開発されたが、細かい電子制御を要するため価格の増加を招いていた。そこで、比較的lowコストで高品質な暗色表示を可能にすべく、本研究グループではディスプレイのトップパネルに光吸収黒色層を含む反射防止 (AR) コーティングを施すプロダクトデザインを着想した。この黒色ARコーティングつきディスプレイは、非点灯時にも高級感あふれる深い黒色を備えることから、有機LEDを含めたさまざまな電子ディスプレイデバイスにおいてそのデザイン性を飛躍的に向上させ、高付加価値製品となることも期待される。

この黒色ARコーティングの実現に向けて、可視光全域 (波

長400-700 nm) を強く均等に吸収する黒色薄膜材料を新たに開発する必要があった。なぜなら、ほとんどの黒色材料は高エネルギーの青色光を強く吸収し低エネルギーの赤色光を弱く吸収するためである。カーボンナノチューブに代表される炭素系材料では表面の凹凸を利用して可視光全域の等強度吸収が実現される例もあるが、反射光だけでなく透過光も制御するARコーティングでは、光散乱の抑制のため各層にナノレベルの平滑面が求められるため、新しいメカニズムで黒色を示す材料の開発が必要だった。

私達は、独自の材料設計指針を構築しながら、多様な薄膜材料を比較的容易に合成可能なイオンビーム付きパルスレーザー堆積装置と分光エリプソメーターによる光学測定技術を駆使して、セラミックスベースのさまざまな新しい黒色薄膜材料を開発してきた。その概要を紹介する。

2. 可視光全域を強く等しく吸収する黒色薄膜材料の開発¹⁻³⁾

筆者らは、TiO₂系高屈折率透明膜を研究していたことから⁴⁻⁶⁾、低酸素分圧下で成膜されるTiO_{2-δ} (Magnéli相Ti_nO_{2n-1}を含む) は、酸素空孔の電荷補償で生じる遍歴性の高いTi 3d¹電子のため、可視光を長波長ほど強く吸収するDrude型の光吸収スペクトルを示すと知っていた (図-1a青線)。そこで、このTiO_{2-δ}を、バンド間遷移によって短波長ほど光を強く吸収する特性を示す誘電性物質 (バンド構造として絶縁体の物質) と組み合わせれば、可視光全域を強く均等に吸収する特性が発現すると考えた。

ここで、誘電性物質には次の物性が望まれる。

1) 光学バンドギャップ幅が1 eV (≈ 1,240 nm) 程度



【氏名】 いしい あきひろ
【現職】 東北大学大学院工学研究科知能デバイス材料学専攻
【経歴】 2014年東北大学工学部材料科学総合学科卒、2016年東北大学大学院工学研究科博士課程前期2年の課程修了。2017年JSPS特別研究員 (DC2)、2019年博士 (工学)、同年米国Clemson Universityポスドク、2020年東北大学大学院工学研究科助教。光学デバイスやエネルギーデバイスに用いる機能性無機材料の開発に従事。金属学会、応用物理学会、日本固体イオニクス学会、電気化学会各会員。

【図表について】 電子ジャーナルサイト「J-STAGE」ではカラーでご覧いただけます。https://www.jstage.jst.go.jp/browse/shikizai-char/ja/