

表面加飾技術による不可視デジタル情報の研究事例紹介

前田秀一*

Research of Invisible Digital Information using Surface Decorating Technology

by

Shuichi Maeda*

(received Dec. 21, 2022 & accepted Dec. 22, 2022)

Abstract

What is the significance of information that is invisible to the human eye? In fact, the advantages of such invisibility are many. We have succeeded in making an invisible digital image on a metal substrate using periodic repeatability by thin-film interference of niobium oxides. Although this digital information is invisible in the visible light range, but detectable in the infrared light range. This technology has a potential to be applied to anti-counterfeiting and traceability.

Keywords: Invisible digital image, Thin-film interference, Periodic repeatability

1. はじめに

著者は工学部光・画像工学科に所属してきたが、2022年度より情報理工学部情報メディア学科の一員となった。現在、これまでの研究テーマの中から、情報メディア学科で継続、発展させるのに相応しいと思われるテーマを選択することに頭を悩ませている。

情報理工学部は3つの学科からなる。情報科学科はサイエンス、コンピュータ応用学科はエンジニアリングとの関係が深い。そう考えると、情報メディア学科にはアートが似合うのではないかと感じる。そんなとき、アートに近い要素のある「加飾技術」と、情報系学科では最も重要な「デジタル情報」を融合させたテーマが研究室にあることに気がついた。本稿では、そのテーマ「ニオブの陽極酸化による薄膜干渉を利用した不可視QRコード®」について報告する。

2. 見えない情報と加飾技術の利用

人間の目に見えない情報に何か意味はあるだろうか。実はこの見えないことのメリットは意外に多い。但し、ここで言う「目に見えない」は、機器によって可視化や定量化ができることを前提としている。例えば、見えないのであれば、商品の外観を損ねることなしに、デジタル情報を埋め込むことができる。高級ブランド品のパッケージ表面にQRコード®やバーコードは似合わない。また、目に見えなければその存在を知られることもなく、複製や改ざんなどのリスクを軽減できる。さらに、このデジタル情報は見えないのだから、パッケージの至るところに埋め込むことができる。そうすれば（可視光以外で反応する新たにセンサーが必要にはなるが）セルフレジでいちいちバーコードの位置を確認しなくても読み取りできることになる。

一方、これまでステンレスなどの金属表面の腐食を防ぐ役割

を果たしてきた酸化皮膜（不動態膜）の厚みをコントロールすることで、様々な干渉色を発生させるという技術¹⁾が開発されている。この発色技術は、ステンレスなどの金属は銀色（無彩色）という既存概念を壊し、金属の表面に有彩色を添えるという新しい価値観をもたらす点で一種の加飾技術と言える。こういった高付加価値を提供する金属加飾の分野でも、トレーサビリティなどの観点から、今後は見えないデジタル情報を埋め込む必要性が高まってくるとと思われる。

著者らは、これまで金属ニオブ板上に、酸化ニオブ薄膜を設けて、その薄膜干渉による発色メカニズム²⁾を研究してきた。その過程において、酸化膜の厚みに応じて周期的に似た色が発現される様子を観察してきた（図1）。例えば、ニオブ板上に膜厚が約100nmの酸化ニオブ層を形成したとき、元のニオブ板のように無彩色に近い銀色が観察される³⁾。これは、薄膜干渉によって強め合う波長および弱め合う波長が可視光領域の範囲外にあり、可視光領域では干渉の影響が観察されないためである。

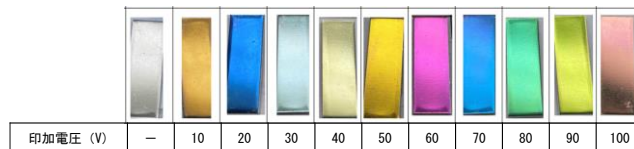


図1 ニオブ板の陽極酸化における印加電圧と発色の関係

この周期的な特性を「見えないデジタル情報」に応用できないかと考えた。もしニオブ板上に100nmの酸化ニオブ膜を任意の場所に部分的に形成することができれば、可視光下ではコントラストが小さすぎて視認されない一方で、可視光の範囲外、例えば赤外光下では十分なコントラストを発現する可能性がある。この場合、通常のカメラではコントラストが小さく、赤外線カメラではコントラストが出るような画像を形成することが可能になる。

* 東海大学情報理工学情報メディア学科

3. 見えない QR コードの形成と評価

3. 1 可視光下で無彩色となるニオブの陽極酸化の条件

酸化ニオブ薄膜をニオブ板上に設けたとき、可視光領域においていかにニオブ板の銀色（無彩色）に近づけるための具体的な方法を次に述べる。

前述のように我々の従来研究³⁾より、酸化ニオブの膜厚が100nm付近のとき、元のニオブ板のように無彩色に近い薄い色が観察されることがわかっている。また、この際の実験条件では、ニオブ板の陽極酸化の印加電圧と酸化ニオブの膜厚との間に①式の関係がある。

$$d(\text{nm}) = 2.4 \times E(\text{V}) + 8.0 \quad \text{--- ①}$$

d: 酸化ニオブ層の厚さ

E: 陽極酸化時の印加電圧

よって、膜厚100nmの酸化ニオブ膜を得るための印加電圧は約38Vと計算される。

元々のニオブ板の分光スペクトルと、ニオブ板を38Vで陽極酸化処理したときの分光スペクトルの比較結果について述べる。400nm～800nm付近の可視光領域においては、これら二つのスペクトルはほぼ同様であった。一方、800nm～1700nm付近の赤外光領域においては、全く様子が異なった。特に1000nm付近では、38Vで陽極酸化した試料の反射率が約40%であるのに対し、元のニオブ板の反射率は約80%であり、大きな差が確認された。これは、ニオブ板とそれを38Vで陽極酸化したものは、可視光領域では同じに見えるのに、赤外光領域は全くことなるように検知されることを意味している。

以上の現象を利用し、図2にその概念を示すように、38Vニオブ酸化膜をニオブ板の任意の位置に形成することができれば、可視光領域では不可視で赤外光領域では検出可能な潜像を作ることができる。具体的には、可視光カメラではコントラストが低過ぎて人の目には見えず、一方赤外線カメラでは十分検出可能なコントラストを有するQRコード®を作成することができることになる。



図2 可視領域では不可視、赤外領域では検出可能な潜像の形成

3. 2 見えない QR コード®の作成工程

PET フィルム上にレーザープリンタ（LP-7010C, Canon）によってトナーを転写し、QRコード®用のマスクを作製した。またニオブ板（30×40×0.1mm）上にポジ型フォトレジスト液をスピンコートしドライオーブン内で乾燥した。次にQRコード®の情報が含まれた上記のマスクをニオブ板に重ねた状態で紫外光に露光し、現像した。その後、100nmの酸化ニオブ層を形成するための条件に合わせ、陽極酸化を行った。すなわち、陽極にフォトマスクしたニオブ板、陰極に白金コートしたチタン電極を用いて、クエン酸溶液中38Vの印加電圧で300秒間陽極酸化を

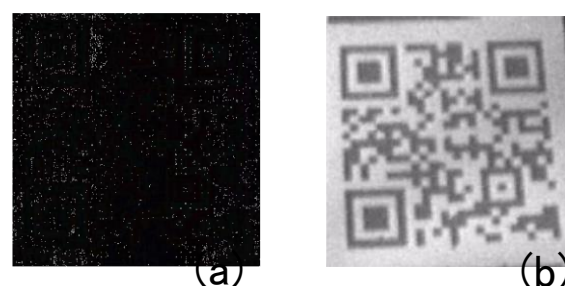
行った。最後に、基板上に残った樹脂をアセトンで洗い流した。フォトマスクフォトレジストの技術を用いて、背景として残す部分を樹脂でマスクした上で、QRコード®の書込み部のみが陽極酸化されて、酸化ニオブの膜が形成されたことになる。

3. 3 見えない QR コード®の評価

上記で作製した、QRコード®を形成したニオブ板を白色光源The Judge II（GretagMacbeth TM）の下で、可視光カメラX-T2（富士フイルム株）で撮影した。さらに940nmのLEDを搭載した赤外線モノクロカメラMK-0323（Mintron Enterprise）で撮影した。撮影画像は液晶ディスプレイ200FP（DELL）に表示しコードリーダーiPhone 11（Apple）および読み取り用アプリケーション（クルクル - QRコードリーダー、デンソーウェーブ）を用いて検出を行った。

以上の工程を経て作製したQRコード®を埋め込んだニオブ板は、可視光下では視認されず、コントラストも非常に小さかった。そして、そのQRコード®からはデジタル情報を読み取ることはできなかった。一方、赤外線カメラによる撮影から得たQRコード®には十分なコントラストがあり、図3に示すように検出可能であり、実際のホームページ(<https://www.u-tokai.ac.jp/>)に飛ぶことができた。

図3 通常のカメラ(a)、および赤外カメラで(b)撮影されたQRコード®像を液晶ディスプレイに表示した画像



コード®像を液晶ディスプレイに表示した画像

4. おわりに

酸化ニオブによる薄膜干渉を利用し、可視光で不可視、赤外光で検出可能なQRコード®を得ることに成功した。本研究の「ニオブの陽極酸化による薄膜干渉を利用した不可視QRコード®」は、偽造防止、トレーサビリティなどの分野での応用が期待される。

参考文献

- 1) 川見和嘉, 今岡睦明, 廣瀬伸吾 “電解砥粒研磨によるステンレス鋼の化学酸化発色皮膜への影響”, 色材協会誌, 93, 42-48 (2020).
- 2) 阿部裕太, 前田秀一, “フォトリソグラフィーを用いた酸化ニオブ薄膜による干渉色の混色”, 日本画像学会誌, 58, 28-32 (2019).
- 3) I. Komatsu, H. Aoki, M. Ebisawa, A. Kuroda, K. Kuroda, S. Maeda.” Color change mechanism of niobium oxide thin film with incidental light angle and applied voltage”, Thin Solid Films, 603, 180-186 (2016).