ノート

J. Jpn. Soc. Colour Mater., **94**〔9〕，252-255（2021）

エラストマー固定チューナブルコロイドフォトニック結晶フィルムによるひずみの可視化

天野愛海*・田島寛之*・笠井尚哉*・金井俊光*,†

*横浜国立大学大学院　神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5（〒240-8501）
† Corresponding Author, E-mail: tkanai@ynu.ac.jp

（2021年7月2日受付，2021年8月10日受理）

要　　旨

粒子同士が離れた状態で周期配列したコロイド結晶をエラストマーで固定した，チューナブルコロイドフォトニック結晶フィルムを作製した。柔軟性を有する本フィルムをアルミニウム試験片表面に接着し，その状態でアルミニウムの引張試験を行った。応力印加前のフィルムは，フィルム面に平行に配列したFCC構造の（111）面に起因するブラッグ反射により赤色を呈していたが，アルミニウムのひずみ量の増加にともない，おもにその格子面間隔が減少することによりブラッグ反射波長が短波長側へシフトした。その結果，フィルムの色はひずみ量に応じて赤色から橙色，黄色，緑色へと変化した。本フィルムは，接着することにより対象物のひずみ量を色変化から検出できる簡易センサへの応用が期待できる。

キーワード：コロイド結晶，チューナブルフォトニック結晶，構造色，ひずみセンサ

1. 緒　　言

一般的に金属に代表される物質に応力が加わると，物質はひずみ，変形する。さらに大きな応力が加わると，破断に至る[1)]。ひずみ測定は，材料や構造物の強度や安全性を判断するうえできわめて重要な測定の一つになっている。ひずみ測定の一般的な方法として，ひずみゲージを対象物表面に接着して測定する方法がある[2)]。ひずみゲージはおもに金属抵抗体などで構成されており，対象物がひずむと抵抗体が伸縮し，抵抗体の電気抵抗値が変化するため，ひずみ量が測定される。このように，ひずみゲージは物質のひずみ量を電気信号により測定するが，たとえば，リトマス試験紙のように色変化からひずみを検出できれば，特別な機材や技術も必要なく誰でも簡単に測定でき，実用上，きわめて有益である。

近年，さまざまな外部刺激を色変化から検出できる，チューナブルコロイドフォトニック結晶が注目され，研究が行われている[3-10)]。コロイド結晶は，単分散コロイド微粒子の三次元周期配列構造体であり，屈折率（誘電率）の周期配列構造体でもあるため，フォトニック結晶の性質を有する。光学ストップバンドをもち，ストップバンド波長においてブラッグ反射を起こすため鮮やかな反射色を呈する特徴がある。とくに，コロイド結晶の粒子配列をゲルやエラストマーなどのソフトな高分子により固定した複合体では，外部刺激による高分子の体積変化や変形を介してコロイド結晶の粒子間隔が変化するため，ブラッグ反射波長，すなわち反射色が変化する。たとえば，温度[11-13)]，pH[14,15)]，応力[16-22)]などの外部刺激により反射色が変化することが報告されている。このようなチューナブルフォトニック結晶をフィルム形状に作製し，物質に貼りつければ，物質のひずみをコロイド結晶の反射色変化から検出することができる[23)]。われわれは，最近，高品質なエラストマー固定チューナブルコロイドフォトニック結晶フィルムの作製に成功している[24)]。平板状キャピラリーセルを用いたせん断流動処理により，光学的に均質なcm^2サイズのフィルムを得ることができる。本フィルムは，これまで報告されているエラストマー固定コロイドフォトニック結晶と比べて粒子濃度が低く，粒子同士が大きく離れているため，大きく伸張できる特徴がある[24,25)]。

本研究では，高品質なエラストマー固定チューナブルコロイドフォトニック結晶フィルムを，アルミニウム試験片表面に接着し，その状態でアルミニウムの引張試験を行った。試験片が破断するまでのアルミニウムのひずみ量とブラッグ反射波長（反射色）との関係について検討した。

2. 実　　験

2.1　試料

エラストマー固定チューナブルコロイドフォトニック結晶フィルムは，すでに報告済みの方法に従い作製した[24,26-28)]。すなわち，まず粒径160 nmの単分散ポリスチレン微粒子の水分散液（Thermo Scientific製，5016B）にイオン交換樹脂（Bio-Rad製，AG501-X8（D））を添加し，撹拌することにより荷電安定化コロイド結晶を得た。これにゲル化剤として，*N*-イソプロピルアクリルアミド（NIPAM，富士フイルム和光純薬製），*N*-メチロールアクリルアミド（NMAM，富士フイルム和光純薬製），*N,N'*-メチレンビスアクリルアミド（BIS，富士フイルム和光純薬製），2,2'-アゾビス［2-メチル-*N*-（2-ヒドロキシエチル）プロピオンアミド］（VA，富士フイルム和光純薬製）および超純水を添加し，NIPAM濃度，NMAM濃度，BIS濃度，

【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/

© 2021 Journal of the Japan Society of Colour Material