

全ての光を吸収し、耐久性も高い 究極の暗黒シート

SATテクノロジー・ショーケース2020

■ はじめに

「黒」は何物にも染まらない唯一の色であり、裁判官の法服が黒いのも、公正・中立を象徴する色だからと言われています(*諸説あります)。また、黒色仕上げしたモノは、格調や高級感も感じさせます。黒色素材は、こうした装飾目的のほかにも、様々な用途があります。例えば、太陽エネルギー利用、光センサーの吸収体、熱放射体などです。特に、映像用のカメラ内部などの迷光・乱反射防止用途では、できるだけ 100 % に近い光吸収率のものが必要とされています。筆者は、産総研・計量標準総合センターで光の強さ(光パワー、単位W)に関する国家標準の開発・供給に従事していますが、光パワーを精確に測る上では、全ての光をとらえるために、やはり 100 % に近い光吸収率の黒色材料が必要です。

これまでの黒色素材のうち、配向カーボンナノチューブ(VACNT) [1,2] は光吸収率99.9 % 以上を誇り、世界一黒い物質だと言われています。しかし、VACNTは接触到に弱く、取扱が困難という課題がありました。そこで筆者らは、あらゆる光を吸収して、なおかつ高い耐久性も併せ持つ新しい光吸収材料、「暗黒シート」の研究開発に取り組みました。その結果、高エネルギーのイオンビームを用いた微細加工法によって丈夫な素材の表面に微細な凹凸構造を作製し、その鋭さや、サイズ、組成の条件次第で、光吸収率を極限まで高められることを見出しました[3,4]。

■ 活動内容

1. 光閉じ込め構造の設計

素材表面に形成した微細な円錐状空洞構造に光が閉じ込められる原理を図1に示します。微細な空洞に光が入射すると、壁面で何度も反射を繰り返して、最終的に正味の反射率がゼロ近くまで低減するので、光吸収率は100 % に近くなります。この原理は、いわゆる空洞黒体と同じです。ただ、通常空洞黒体の構造は円筒状で、大面積の平面を作るのには向いていません。そのため、空洞黒体の原理が成立するぎりぎり小さい穴を、平面上に敷き詰めるというアプローチをとりました。ただし、このような微細空洞構造で 100 % 近い光吸収率を達成するには、各微細空洞の壁面の傾斜を急峻にしつつ、その表面はナノメートルレベルで滑らかにし、また、微細空洞同士がオーバーラップする部分のエッジは十分に鋭くする必要があります。また、紫外線～可視光～赤外線の全てを吸収させるには、空洞の深さは最大波長以上の数十マイクロメートル程度

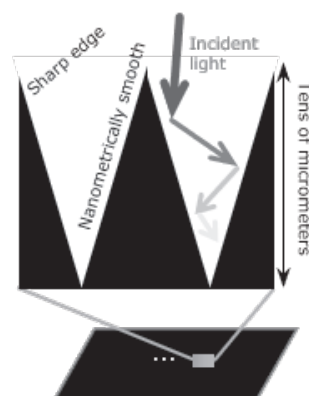


図1 暗黒シートの微細空洞による光閉じ込めの原理

にする必要もあります。このような超精密な微細空洞構造は、通常の微細加工技術(リソグラフィや超精密機械加工など)では作製できないものです。

2. 光閉じ込め構造の作製(イオンビーム加工)

今回は、サイクロトロン加速器からの高エネルギーなイオンビームを用いて、この難加工構造を作製しました。これは、樹脂材料基板にイオンビームを照射して、高分子切断の痕跡を生じさせ、続く化学エッチングでその痕跡を円錐孔に拡大形成する技術です(イオントラックエッチング法といいます)。ここで、基板に均質で非晶質性の樹脂(CR-39樹脂)を用いることで、エッチング処理後でも極めて表面粗さの小さい加工面が得られ、設計通りの精巧な微細空洞構造を実現できました。高エネルギーイオンビームの照射には、量研・高崎量子応用研究所イオン照射研究施設TIARAのAVFサイクロトロンを利用しました。

3. 暗黒シートの作製

こうしてマイクロ空洞加工したCR-39樹脂素材はしかし、元々が無色透明なため、そのままでは黒色素材とはなりません。かといって、元々黒い別の素材に同じイオンビーム加工を直接高精度に施すのは困難です。そこで、別の黒色材料に拡張して可視域でも黒いシートを作成するために、微細空洞構造を転写する方法を開発しました(図2)。今回、微細空洞構造を作製したCR-39樹脂基板を原盤として利用し、カーボンブラックを混練したシリコンゴムの表面に微細構造を転写することで、可視域でも黒い

代表発表者 雨宮 邦招(あめみや くにあき)
所 属 国立研究開発法人 産業技術総合研究所
計量標準総合センター
問合せ先 〒305-8563 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第3
TEL: 029-861-4191
E-mail: k.amekiya@aist.go.jp

■キーワード: (1) 暗黒シート
(2) 光閉じ込め構造
(3) イオンビーム

■共同研究者: 清水雄平、井邊真俊、蔭洋司
(産業技術総合研究所 計量標準総合センター)、
越川博、八巻徹也(量子科学技術研究開発機構、
高崎量子応用研究所)

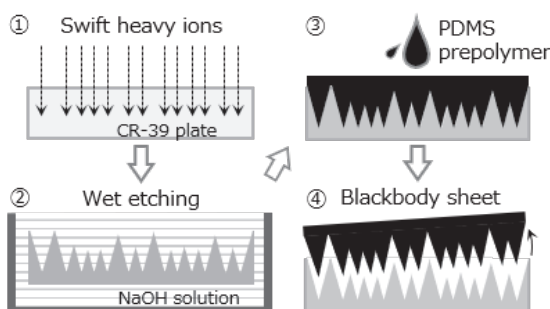


図2 暗黒シートの製造方法

「暗黒シート」を作製しました(図3)。その分光反射率値を評価して光吸収率を算出した結果、紫外線～可視光～赤外線のある光を99.5 % 以上も吸収することが確認できました。特に熱赤外線の波長域では、世界最高水準となる99.9 % 以上の光吸収率が得られました。この「暗黒シート」はシリコーンゴムの柔軟性を保っており、曲げても触っても、粘着テープを貼りつけて剥がしても、表面の微細空洞構造(図4)が損なわれないため、性能が劣化せず、高い光吸収率を維持できます。このように、耐久性と、極めて高い光吸収率を併せ持つ黒色素材は世界で初めてです。

今回開発した暗黒シートは、原盤から繰り返し作製できるため、量産性もあると考えています。また、他の素材への拡張性の高さも示すことができました。美しい黒が映える新素材として、高級感ある黒の演出や、余計な光を極力抑えたい場面での利用(乱反射防止)など、一般環境での幅広い応用が期待されます。

本成果は、論文発表[5]や特許出願[6]、及びプレス発表も行い[7]、新聞20紙に記事が掲載されたほか、テレビ・ラジオ・雑誌や、多くのWeb媒体にも取上げられました。今後は、広く一般用途に使用できるよう、実用化のための研究開発を進める予定です。また、可視光に対しても99.9 % 以上の光吸収率を目指します。

■ 関連情報等(特許関係、施設)

- [1] Z.P. Yang et al., Nano Lett. 8 (2008) 446.
- [2] K. Mizuno et al., Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 106 (2009) 6044.
- [3] K. Amemiya et al., Appl. Opt. 51 (2012) 6917.

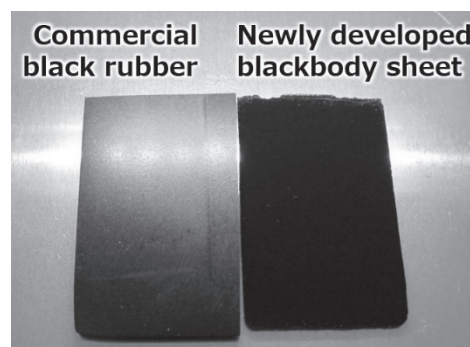


図3 市販黒色ゴムシート(左)と暗黒シート(右)

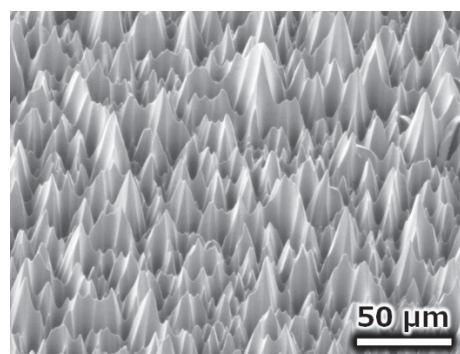


図4 暗黒シート表面の電子顕微鏡画像

- [4] K. Amemiya et al., Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B 356–357 (2015) 154.
- [5] K. Amemiya et al., J. Mater. Chem. C 7 (2019) 5418.
- [6] 国際公開番号 WO/2019/087439 光吸収体の製造方法 (2019.5.9)
- [7] プレス発表、産総研・量研共同, 2019.4.24
https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2019/pr20190424/pr20190424.html

本研究は、独立行政法人日本学術振興会の科研費18K11940(2018～2020年度)の助成、及び東京大学大学院工学系研究科原子力専攻が推進する原子力機構・量研施設利用共同研究制度の支援を受けて行いました。