解　説

J. Jpn. Soc. Colour Mater., **94**〔7〕, 185-191 (2021)

高温ガラス融液の表面張力を利用したガラス真球およびガラス超薄膜の形成とその光学および生体応用

岸　哲生*,†

*東京工業大学　東京都目黒区大岡山2-12-1S7-4（〒152-8550）
† Corresponding Author, E-mail: tkishi@ceram.titech.ac.jp

（2021年4月29日受付，2021年5月21日受理）

要　　旨

高温ガラス融液の表面張力により自発的に形成される形状変化を利用して，マイクロメートルサイズの真球状のガラスおよびサブミクロン厚のガラス自立膜を作製した。ガラス真球はきわめて高い効率で光を閉じ込める共振器として機能し，低い励起エネルギーでレーザー発振することを実証した。また，柔軟に曲げられるガラス自立膜に適切な表面化学状態を付与することで，室温で異種材料に強固に接合できることがわかった。これを利用して，光機能や生体活性をもつガラス超薄膜をあらゆる固体材料に容易に複合化できる可能性があることを明らかにした。

キーワード：ガラス融液，表面張力，マランゴニ対流，真球，超薄膜

1. はじめに

ガラス材料は熱的・化学的耐久性に優れていることから，窓ガラス，ディスプレイ基板，通信用光ファイバなど身の回りの至るところで使用され，われわれの生活を支える基盤材料の一つとなっている。これまでに多様な用途の厳しい要求に対応するために，ガラス産業ではきわめて高いレベルの品質達成の努力がなされてきた。現在，一辺10 m以上の板材や長さ数十km以上の数マイクロメートル直径の繊維などが，材料の均質性を保持したまま連続して製造されている。このようなガラス材料の均質性・成形性の高さは，過冷却液体がそのまま固まるという特徴を積極的に利用したことによるものである。高融点原料を用いるガラスやセラミックスなどの無機材料では，1,000℃以上の高温プロセスを経ることで，液相もしくは固相反応により材料合成が行われる。1970年以降に登場したファインセラミックスやニューガラスという言葉は，原料の純度や反応温度・時間を調節し高い均質性や物性を発現させた，高い付加価値をもつ材料を指すが，この分野は現在の日本の製造業において世界的競争力が高い分野の一つである。結晶材料では結晶構造に由来するモルフォロジーのため，ガラス材料のように形状を保持したまま大型もしくは長尺の部材を連続生産することは困難である。一方，ガラスは溶融・冷却という過程を経て得られ，過冷却液体状態において適切な形状制御を施すことで，大型の部材であっても均質性を保ったまま所望の形状に変形できるという特徴がある。

以上のように，ガラス材料は高精度な均質性・形状制御を達成することで，科学技術の発展を支えてきた。これらをさらに高度化すれば，将来の科学技術の発展に対して貢献できるものと期待される。計算機科学による理想的な条件下での機能性素子の研究が進展しているが，実物の素子を作製するためには形状や寸法を極限まで高める製造プロセスの高度化が不可欠である。所望の物性をもつ材料に理想的な形状を付与することができれば設計どおりの性能をもつデバイスを具現化することができる。極限まで形状精度を高めた部材はきわめて高い機能性素子となりうる。たとえば本稿で取り上げる真球度のきわめて高い球体は光を閉じ込める共振器として機能し，その閉じ込め効率は光共振器の中で最も高く，従来のFabry-Perot型光共振器に比べて桁違いの性能指数をもつ[1,2]。一方，硬くて脆いイメージのあるガラスもサブミリメートルまで薄くすると柔軟に曲がるようになり，サブミクロンオーダーではフレキシブルなフィルムのように変化する。

著者らはガラス材料の新しい応用に向けて，ガラス材料を真球（**図-1a**）やサブミクロン厚の自立膜（超薄膜，図-1b）に成形するためのプロセス開発とその機能評価を進めている。本稿では，その作製プロセスにおいて重要となる高温ガラス融体の表面張力制御を中心として，ガラス真球やガラス超薄膜の作製と応用について紹介する。

2. ガラス融液の表面張力

液体の表面張力はその形状や物理現象を決める物理量であ

〔氏名〕きし　てつお
〔現職〕東京工業大学物質理工学院・材料系 助教
〔趣味〕バイオリンを習うこと。畑仕事を習うこと。
〔経歴〕東京工業大学工学部無機材料工学科卒業（2002）。同大学理工学研究科物質科学専攻修士課程修了（2004）。同専攻博士後期課程修了（2007）。日本学術振興会特別研究員（DC2）（2005-2007）。東京理科大学基礎工学部材料工学科助教（2007-2010）。東京工業大学理工学研究科物質科学専攻助教（2010-2016）。2016年より現職。

【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