

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	StM法による超半球型ガラス光学素子の作製
Title(English)	
著者(和文)	岸哲生, 柴田修一, 矢野哲司
Authors(English)	Tetsuo Kishi, SHUICHI SHIBATA, Tetsuji Yano
出典(和文)	The 21st Meeting on Glasses for Photonics 講演予稿集, , , p. 1-2
Citation(English)	, , , p. 1-2
発行日 / Pub. date	2011, 2

## StM 法による超半球型ガラス光学素子の作製

岸哲生, 柴田修一, 矢野哲司

東京工業大学

## [はじめに]

球の一部を切り取った形状の超半球型ガラス光学素子は、光の回折限界を超える分解能を有する Solid Immersion Lens (SIL: 固浸レンズ) や球面での全反射により高い効率で光を閉じ込める光共振器として機能する。こうした光学素子が実際に高い光機能を発現するためには、適切な材料に所望の形状や表面性状を付与しなければならない。例えば SIL (図 1) のレンズ高さ  $h$  はレンズ媒質の屈折率  $n$  および球面の曲率半径  $a$  によって決まり、 $h$  には少なくとも数百 nm の精度が求められる。また、球状光共振器が高い光閉じ込め効率を実現するためには、球界面の散乱損失を極限まで低減する必要があり、球面にはナノメートルオーダーの平滑性を付与しなければならない。こうした加工精度を通常の加工技術で実現することは困難である。

我々はこれまでに、ガラス液滴と固体表面との濡れ性により超半球状のガラスを成形する Surface-tension Mold (StM) 法を開発してきた。ガラス微粉をガラスとの濡れ性が低い基板上で熱処理することで、一度の処理で大量のガラス超半球を作製することができる。StM 法で得られる球面は、材料自身の表面張力により形成される自由表面となり、基板表面を予め研磨しておくことで底部平坦面に高い平滑性を付与することもできる。固体表面上に保持した液滴の接触角  $\theta$  は、液滴の表面張力、固体の表面張力および液体-固体間の界面張力の釣り合いによって決まるため、ガラス組成と基板材料を適切に選択することで、所望の超半球形状を得ることができる。

本講演では、各種ガラス組成の濡れ性を明らかにして、StM 法で得られる素子形状と光機能との関係について述べる。さらに、粒径・配列制御法として、StM 法とリソグラフィの組み合わせによるガラス超半球アレイの作製について紹介する。

## [StM 法によるガラス超半球の作製]

通常の熔融急冷法により作製した  $20\text{Na}_2\text{O}-10\text{CaO}-x\text{B}_2\text{O}_3-(70-x)\text{SiO}_2$  [mol%] ガラス ( $x=0, 10, 20, 30, 40, 50$ ;  $n_{\text{He-Ne}}=1.519-1.545$ )、 $\text{La}_2\text{O}_3-\text{ZnO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  系ガラス (LZBS-1;  $n_{\text{He-Ne}}=1.718$ , LZBS-2;  $n_{\text{He-Ne}}=1.786$ ) および市販の  $\text{BaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  系ガラス (BaF10;  $n=1.66$ ) を粉碎・篩い分けして、 $20-53\mu\text{m}$  のガラス微粉とした。これを鏡面研磨したグラッシーカーボン基板 (中心線平均粗さ  $Ra < 2.0\text{nm}$ ) 上に分散させ、 $\text{H}_2/\text{N}_2$  雰囲気下で熱処理した。 $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  系および BaF10 ガラスでは  $800^\circ\text{C}$  で 30 分間熱処理した。一方、LZBS-1 および LZBS-2 ガラスは結晶化を避けるために熱処理条件を最適化し、 $T_1+20^\circ\text{C}$  に加熱した後、すぐに  $T_1$  に冷却し 30 分間保持する温度プログラムを適用した。LZBS-1 および LZBS-2 の  $T_1$  はそれぞれ  $644$  および  $673^\circ\text{C}$  である。図 2(a) および (b) は LZBS-2 および  $x=50$  組成のガラスで得られた試料の SEM 像である。写真からガラスが超半球状に変形していることがわかる。球面は極めて平滑性の高い真球面となっており、基板と接触して形成された底部平坦面は基板の表面性状を写し取った平滑面となっている。この他のガラス組成についても

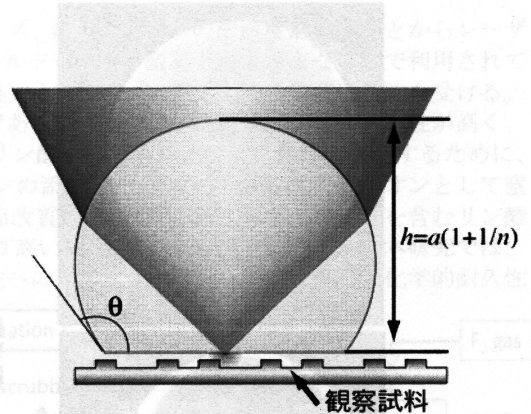


図1. SILの原理を示す模式図。  
 $n$ : レンズ媒質の屈折率,  $a$ : 球面の曲率半径。

キーワード: SIL, WGM 共振器, 表面張力, 濡れ性, ガラス融液

同様の表面性状が得られた。図3は得られたガラス超半球の接触角をガラスの屈折率に対してプロットしたものである。図中の破線は $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系ガラスの変化を表しており、挿入図はこの系の領域を拡大したものである。実線はSILの光学条件 $n=-1/\cos\theta$ であり、灰色部分はSILに求められるレンズ高さ精度を考慮した場合の適合領域を示している。この図から、 $20\text{Na}_2\text{O}-10\text{CaO}-x\text{B}_2\text{O}_3-(70-x)\text{SiO}_2$  ガラスの $x=0-10$  および47mol%組成でSILの光学条件を満足するガラス超半球が作製可能であることがわかる。

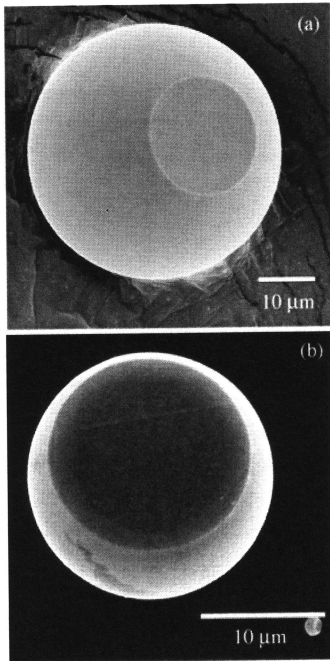


図2. 試料のSEM像.(a) LZBS-2, (b)  $20\text{Na}_2\text{O}-10\text{CaO}-50\text{B}_2\text{O}_3-20\text{SiO}_2$

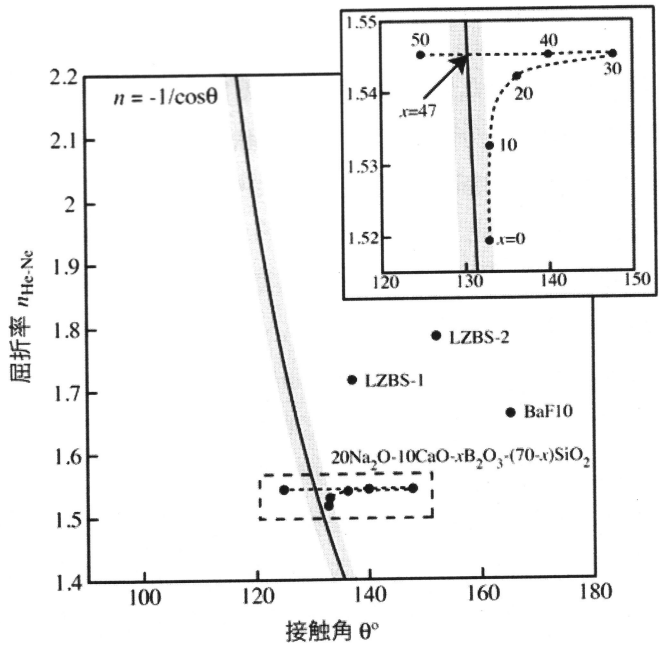


図3  $20\text{Na}_2\text{O}-10\text{CaO}-x\text{B}_2\text{O}_3-(70-x)\text{SiO}_2$ , LZBS-1, LZBS-2, BaF10 ガラスの屈折率 $n_{\text{He-Ne}}$ (波長: 633nm)と接触角 $\theta^\circ$ の関係

[SIL アレイの作製]

ブローイング法により厚さ約  $10\mu\text{m}$  の筒状の  $20\text{Na}_2\text{O}-10\text{CaO}-70\text{SiO}_2$  ガラスを作製した。これを鏡面研磨したグラッシーカーボン基板に室温で直接押し付け、ガラスと炭素質基板のオプティカルコンタクトを行った後、基板上的ガラス箔をフォトリソグラフィによる微細加工で切り分けた。ガラスのエッチングにはバッファードフッ酸によるウェットエッチングと Ar プラズマエッチングを用いた。最後に、切り分けた円盤状のガラスに StM 処理を施した。図4は StM 処理後の試料の SEM 像である。粒径の揃ったガラス超半球がアレイ状に並んでいることがわかる。粒径は  $27\pm 2\mu\text{m}$ 、中心位置のズレは最大で  $7\mu\text{m}$  であった。接触角は  $133\pm 3^\circ$  で、SIL の光学条件を満たしており、SIL としての機能を有している。

[まとめ]

StM 法はガラス融液が持つ表面張力を利用することで、極めて平滑な自由表面からなる球面を有するガラス超半球を自己組織化的に形成することができる。組成によりガラスの光学物性と表面エネルギーをそれぞれ適切に変化させることで所望の光学特性を発現させることが可能である。

StM 法にリソグラフィによる微細加工技術を組み合わせることで、超半球型ガラス光学素子の粒径および配置を制御して作製することもできる。ガラス融液自身の物性を利用して同一形状・サイズの素子を一括して作製できる StM 法は、今後様々な機能性素子の作製へ発展できるものと期待される。

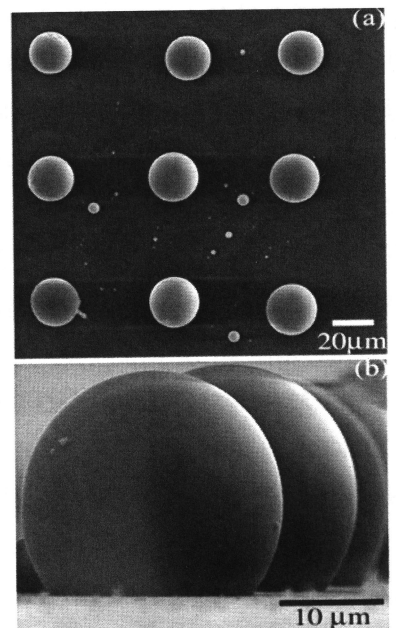


図4 作製した $\mu\text{-SSG}$ アレイ。(a)上部からのSEM像。(b)横から見たSEM像。