

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	ガラス超半球の微小光学への応用
Title(English)	
著者(和文)	岸哲生, 矢野哲司, 柴田修一
Authors(English)	Tetsuo Kishi, Tetsuji Yano, SHUICHI SHIBATA
出典(和文)	The 15th Meeting on Glass for Photonics予稿集, Vol. , No. , pp. 7-8
Citation(English)	, Vol. , No. , pp. 7-8
発行日 / Pub. date	2005,

# ガラス超半球の微小光学素子への応用

岸哲生、柴田修一、矢野哲司（東工大院・理工学研究科）

## 1. 緒言

我々はガラス液滴と基板とのぬれ性を利用して、球の一部を切り取った形状のガラス超半球をマイクロメートルサイズで作製する新しい技術（Surface-tension Mold 法）を開発した。細かく粉碎したガラス粉を基板上にのせ高温で熱処理することにより、一度のプロセスで微小ガラス超半球を作製することができる。

ガラス超半球はその球面を利用して光結合用レンズや光共振器として用いることができる。また、超解像を有する Solid Immersion Lens (SIL) として機能し、高密度光記録用ピックアップや高分解能光学顕微鏡への応用が期待されている。現在、研磨により数百 $\mu\text{m}$  から数 mm のガラス超半球が作製されているが、さらなる微小化としてマイクロメートルサイズのものを精度良く作製する技術は今後の重要な課題になると予想される。こうした光学素子を作製するには少なくとも光の波長オーダーの加工精度が求められるが、既存の技術でこれを満たすことはできない。

光学素子が望みの光機能を発現するためにはガラスの光物性とサイズ・形状が適切な関係を満たしている必要がある。例えば、球状共振器では赤道面が真円である必要があり、高い閉じ込め効率を達成するにはマイクロメートルサイズが好ましい。また、超半球型 SIL ではガラスの屈折率  $n$  と接触角  $\theta$  の間に  $n = 1/\cos\theta$  の関係が成り立っている必要がある。一方、Surface-tension Mold 法で得られるガラス超半球の形状は表面張力の釣り合いによって決まるため、望みの光学素子を作製するためには適切なガラス組成を選択しなければならない。

本報告では、①ガラス組成の最適化による所望の超半球形状の作製、②作製したガラス超半球の SIL 機能の確認および③光共振器としての評価について紹介する。

## 2. 接触角の組成依存性と SIL の光学条件

ソーダライムボロシリケートガラスとグラッシーカーボン基板を対象として、ガラス融液と基板とのぬれ性の組成依存性を調査し、SIL の光学条件との関係を検討した。

$20\text{Na}_2\text{O}-10\text{CaO}-x\text{B}_2\text{O}_3-(70-x)\text{SiO}_2$  [mol%] ( $x=0, 10, 20, 30, 40, 50$ ) ガラスを通常の熔融急冷法により作製し、粒径  $20\sim 53\mu\text{m}$  に粉碎・篩い分けした。これをグラッシーカーボン基板上にのせ、還元雰囲気中  $800^\circ\text{C}$  で熱処理した。基板表面の中心線平均粗さ  $R_a$  は約  $2.0\text{nm}$  である。

図1に  $x=30$  組成の試料の SEM 写真を示す。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。その球面は真球面とほぼ同じ曲率を有する極めて滑らかな面となっており、基板接触面も十分に平滑である。この他のガラス組成についても同様の表面性状であることを確認した。底面の直径と粒径から接触角  $\theta$  を計算した。

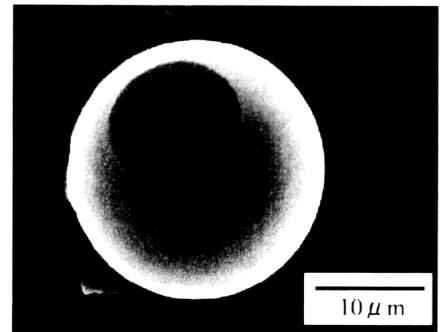


図1.  $20\text{Na}_2\text{O}-10\text{CaO}-30\text{B}_2\text{O}_3-40\text{SiO}_2$  ガラス超半球のSEM写真

図2の破線は  $20\text{Na}_2\text{O}-10\text{CaO}-x\text{B}_2\text{O}_3-(70-x)\text{SiO}_2$  ガラスの  $\text{B}_2\text{O}_3$  量  $x$  mol% に対する  $\theta$  の変化を表している。 $x$  が増えるにつれて  $\theta$  は大きくなり、 $x=30$  付近で最大となった。さらに  $x$  が増えると逆に減少していった。この変化は本来、表面張力の釣り合いによって説明できるが、このガラス系の表面張力のデータがないために現時点で詳細な議論をすることはできない。しかし、一般に表面張力は物質内部に含まれる結合が重要な影響を持つことが知られていることから、網目形成カチオンの平均架橋酸素数に注目した。図2に実線で示したように平均架橋酸素数は  $\theta$  と同様に  $x=30$  で極大を示している。ガラス構造と接触角の間には網目形成カチオンの架橋酸素数が増加するにつれて接触角が大きくなるという相関関係があることが示唆される。

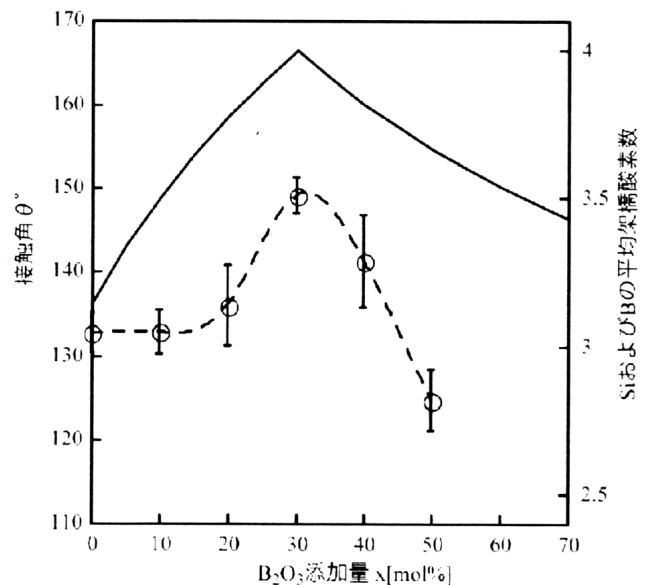


図2.  $20\text{Na}_2\text{O}-10\text{CaO}-x\text{B}_2\text{O}_3-(70-x)\text{SiO}_2$  ガラス超半球の接触角の組成依存性。(SiとBの平均架橋酸素数も併せて示してある。)

キーワード：ガラス超半球、ぬれ性、Solid Immersion Lens、光共振器

図3の破線は  $20\text{Na}_2\text{O}-10\text{CaO}-x\text{B}_2\text{O}_3-(70-x)\text{SiO}_2$  ガラスの  $\theta$  と屈折率  $n_D$  との関係を示している。図中の実線は SIL に求められる光学条件  $n = -1/\cos \theta$  を表しており、赤色部分は SIL に求められる加工精度を考慮した場合の適合領域である。本実験で対象としたガラス系では、 $x=0\sim 10$  または 47 mol%において SIL の光学条件を満たすガラス超半球が作製できることがわかる。

### 3. SIL 機能の評価

$x=0$  の組成で作製したガラス超半球が実際に SIL として機能するかの評価を行った。[1]

ガラス基板上的金属膜のエッジを作製したガラス超半球を通して光学顕微鏡により観察し、その空間分解能を見積もった。ガラス超半球を用いて観察した像の空間分解能は、通常の光学顕微鏡観察に比べて 1.8 倍向上することを確認した。

さらに、線幅  $1.3\mu\text{m}$  で線中央部に約  $20\text{nm}$  の凹みを有する IC チップ表面の光学顕微鏡観察を行った。図4は粒径  $25\mu\text{m}$  のガラス超半球を通して得られた IC チップ表面の観察像である。約  $20\text{nm}$  の凹みが線中央部の明暗として確認できる。これはガラス超半球底面からのエバネッセント波により得られた像であると考えられる。

以上より、作製したガラス超半球が超解像を有する SIL として機能していることがわかる。

### 4. 光共振機能の評価

$20\text{Na}_2\text{O}-10\text{CaO}-70\text{SiO}_2$  ガラスに発光中心として  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  を添加したガラス超半球を作製し、発光特性の評価を行った。[2]

0.5 $\text{Eu}_2\text{O}_3$  添加  $20\text{Na}_2\text{O}-10\text{CaO}-70\text{SiO}_2$ [mol%]ガラスを  $5\sim 20\mu\text{m}$  に篩い分けし、グラッシーカーボン基板上  $800^\circ\text{C}$  で熱処理した。作製した試料の発光スペクトルは顕微ラマン分光測定装置により測定した。励起光源は CW-Ar<sup>+</sup>レーザー（波長  $514.5\text{nm}$ ）である。

図5に作製したガラス超半球（粒径  $9.7$  および  $6.8\mu\text{m}$ ）の発光スペクトルを示す。Eu<sup>3+</sup>の  $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_j$  ( $j=0, 1, 2$ ) 遷移による  $570\sim 640\text{nm}$  の発光に、周期的に鋭いピークが重なっている。

球状共振器の同一モードのピーク波長の間隔（モードスペーシング） $\Delta\nu$  と粒径  $a$  の逆数の間には以下のような比例関係がある。

$$\Delta\nu = \frac{1}{\pi} \frac{\tan^{-1}(m^2 - 1)^{1/2}}{(m^2 - 1)^{1/2}} \frac{1}{a} \quad (m: \text{屈折率})$$

ガラス超半球の粒径と観測されたピークの間隔から、屈折率を見積もると  $m=1.51$  となり、このガラスの屈折率 ( $n_D=1.515$ ) とほぼ一致する。このことから図5の鋭いピークは光共振効果に由来するものであると言える。

光閉じ込め効果の程度を表す Q 値は、実験的には  $Q = \lambda / \Delta\lambda$  (波長/半値全幅) で求められる。この実験では  $Q > 10^3$  であることが確認された。Surface-tension Mold 法により作製したガラス超半球は、非常に真円に近い赤道面を有しており、優れた光共振器として機能することが明らかになった。

### 参考文献

1. T. Yano, T. Kishi and S. Shibata, submitted.
2. T. Kishi, S. Shibata and T. Yano, Proc. ICGXX, o-14-022 (2004)

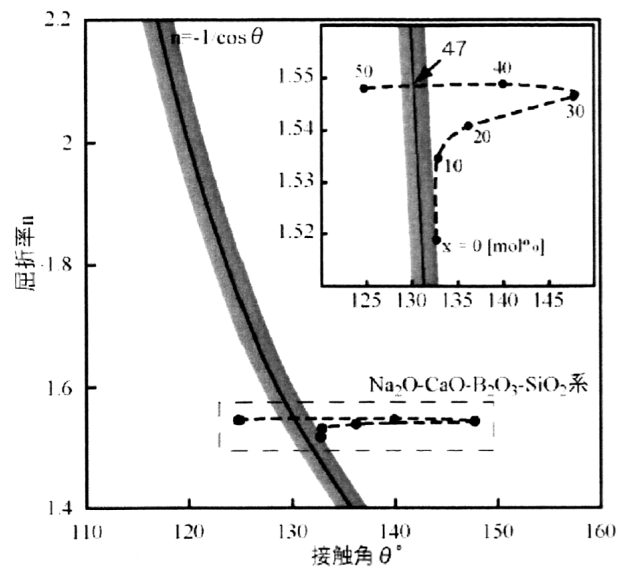


図3.  $20\text{Na}_2\text{O}-10\text{CaO}-x\text{B}_2\text{O}_3-(70-x)\text{SiO}_2$  ガラスの屈折率  $n_D$  と接触角  $\theta$  の関係およびSILの光学条件。

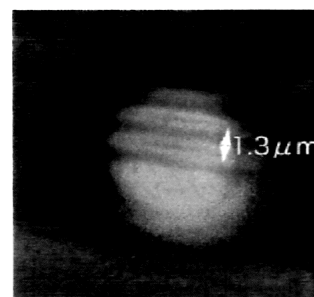


図4. ガラス超半球を通して見たICチップ表面。

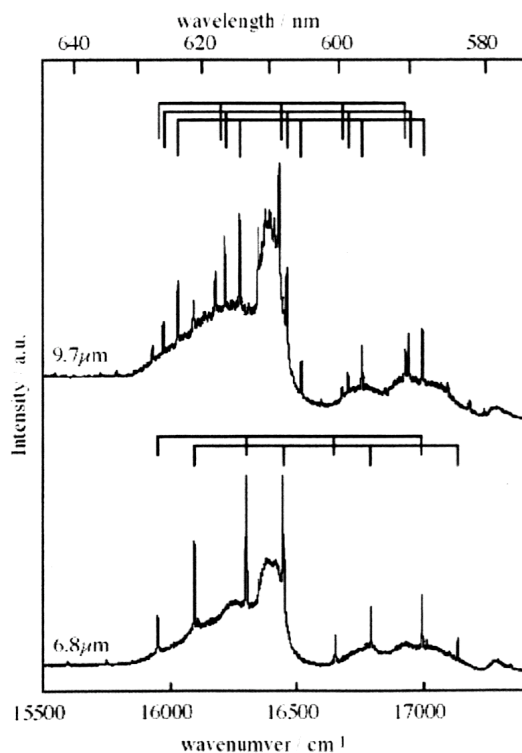


図5. ガラス超半球の発光スペクトル