

吹きガラスの原理でガラス製微小レンズを開発 —高精度・短時間・簡便に大量生産をかなえる技術—

理化学研究所（理研）は、薄板ガラスに形成した微細空洞中の気体を熱膨張させることで、レンズとして使用できるガラス製の微小ドーム構造を短時間に高精度で簡便に大量作製する技術を開発しました。

研究チームは、①ガラス基板に浅い微小なくぼみを形成する、②カバーガラスを重ねて仮接合し閉じた微細空洞を作る、③吹きガラスの原理を利用して、周囲を真空引きしながら加熱することで空洞中の空気を膨張させる、④ゆっくり冷却するという手順により、設計した寸法通りにガラス微小ドーム構造を形成できることを実証しました。

今回の試験では、厚さ $100\ \mu\text{m}$ ($1\ \mu\text{m}$ は $1,000$ 分の 1mm) $\sim 250\ \mu\text{m}$ のガラス板を用いて、直径 $30\ \mu\text{m} \sim 1\text{mm}$ のさまざまな種類の微小ドーム構造を作製し、そのまま使えば凹レンズ（縮小レンズ）、充填液を導入すれば凸レンズ（拡大レンズ）の機能を持つことを示しました。また、高温条件下や酸・有機溶媒中でもレンズ機能は失われず、ガラスの性質が保たれることを確認しました。

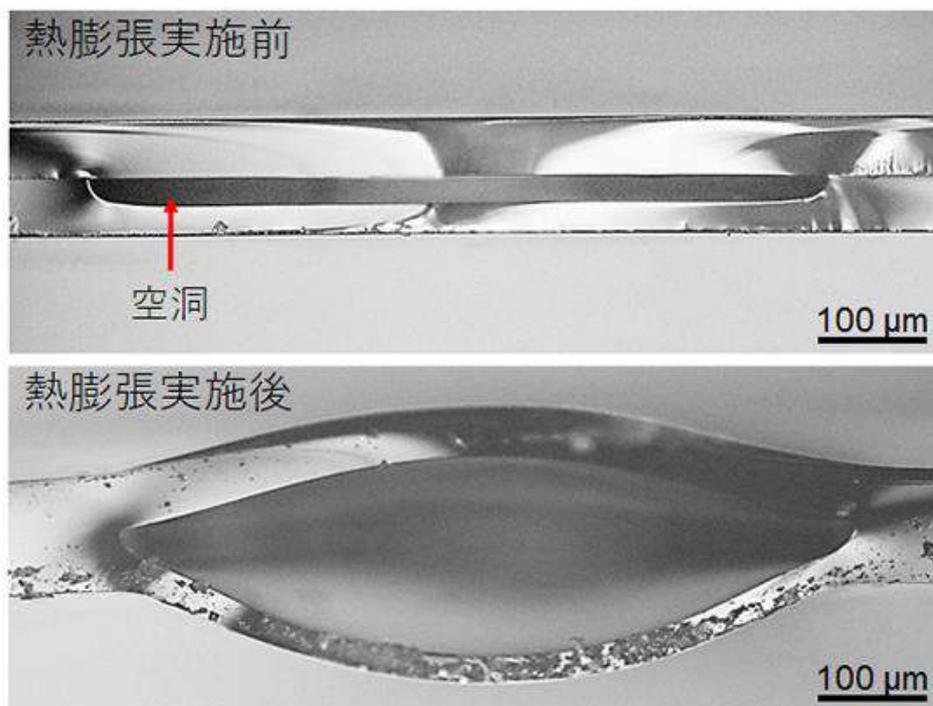


図 本研究で開発した熱膨張手法の実施前と実施後のガラス微小ドーム構造の断面図

研究チームは、ガラスの中に封入した気体の熱膨張を利用する吹きガラス製法に着目しました。伝統ガラス加工分野では数百年来用いられてきた伝統技術をマイクロスケール加工に利用することにより、高いアスペクト比で表面から突出した薄壁のガラス微小ドーム構造を、高精度で短時間かつ簡便に大量生産できる技術を開発しました。

図 1(a-d)は、今回開発した技術の加工手順を簡略化して示しています。まず、ガラスを溶かすフッ化水素酸によるエッチングで、ガラス基板上に浅い微小なくぼみを形成し、カバーガラスを重ねて仮接合することで閉じた空洞を作ります。この状態で周囲を真空引きしながら加熱する（減圧し、高温にする）と、空洞中の空気が膨張し、板ガラスが徐々にドーム状に膨らみ、微小ドーム構造が形成されます。それと同時に、ドーム以外の部分の基板とカバーのガラスが接合されます。予測した形状に到達したタイミングで加熱をやめ、真空引きしながらプログラム制御でゆっくり冷ます（減圧し、低温にする）ことにより、ドーム形状が保たれたまま設計した寸法通りのガラス微小ドーム構造ができ上がります。

図 1(e)は、この構造がレンズとして機能する仕組みを示しています。充填液を用いない場合は、ガラス壁の厚さの差がレンズとしての役割を果たします。つまり、熱膨張によりレンズの中央部のガラス壁が少し薄くなり、これが上下に二重（図では左右二重）になるため、二重の凹レンズ（正確には凹メニスカスレンズになります。このとき、観察する対象物は実際よりも小さく見えるため、縮小レンズとして働きます。

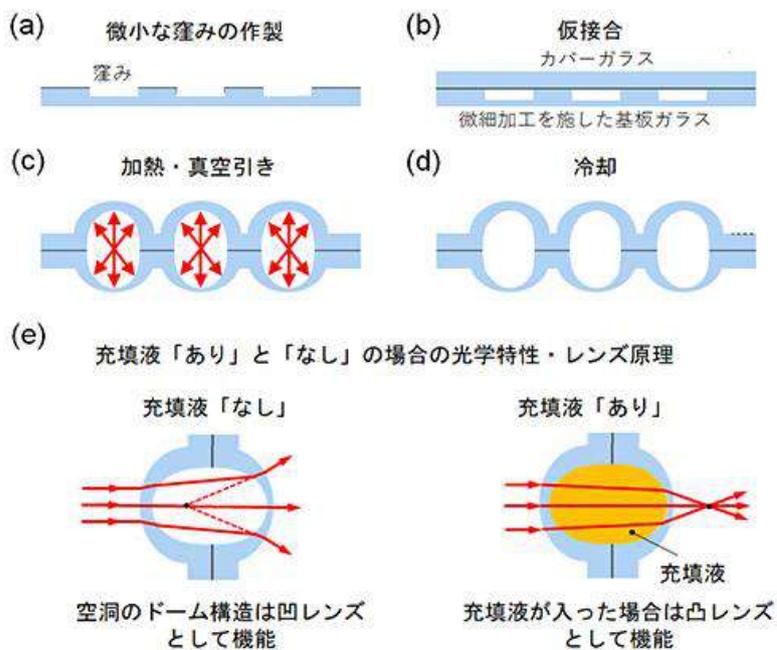


図 1 今回開発したガラス膨張法によるガラス微小ドーム構造の形成工程と機能

一方、屈折率がガラスと同様に空気よりも大きい充填液を用いると、両凸レンズとなります。このとき、観察する対象物は実際よりも大きく見えるため、拡大レンズとして働きます。充填液を用いる場合は完全なガラス製レンズではなくなりますが、外側はガラスであるため、物理的強度や化学的耐性といったガラスの基本的な特性は保たれます。

ガラスドーム構造は、使用するガラスの厚さに応じて変形量が変化します。図 2a, b の上側のガラスのように厚いと変形量が小さく、下側のガラスのように薄いと変形量が大きくなります。断面はきれいな釣り鐘型をしていて、ドーム構造の中央部のガラスは、周囲に比べて薄くなっています。ただし、くぼみ部分以外の接合部のガラスの厚さが上下で一致していないと、熱膨張率の違いによって割れてしまうため、厚さがほぼ同じガラスを接合させる必要があります。

さらに、図 2c, d に示すように、数量、形状、サイズといった複数の設計条件を自由に設定でき、しかも再現性良く均一に作ることも、また充填液を導入するための流路を付け加えることも可能です。そのため、本手法で作製したドーム構造の応用範囲は非常に広いといえます。

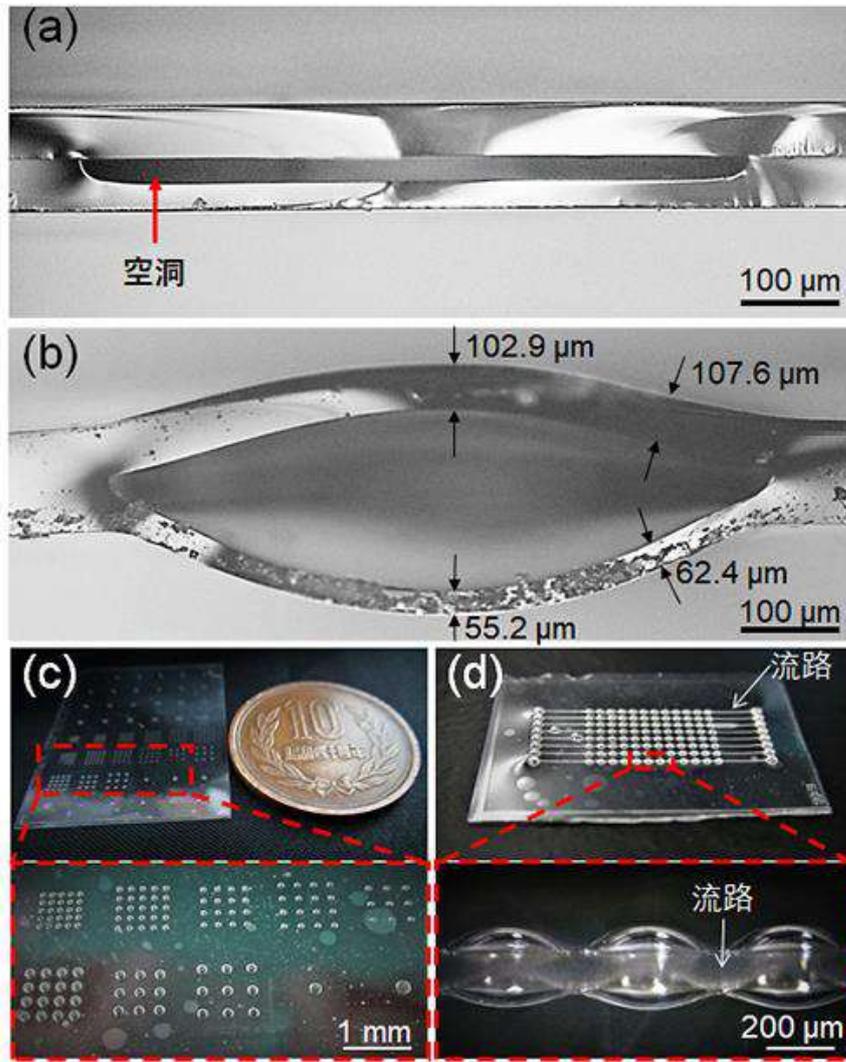


図2 作製したガラス微小ドーム構造の写真

次に、ガラスの厚さやくぼみの直径・深さによってドーム構造がどのように変化するかを調べました。その結果、用いるカバーガラスが薄く、くぼみの直径が大きく、くぼみが深いほどドームの高さは高くなることが分かりました（図 3a, b）。この傾向は、ガラスの硬さや厚さから理論的に計算した結果ともよく一致し、ドーム高さのばらつきも誤差 5%以内と非常に小さいことが分かりました。これにより、微小ドーム構造は設計が容易で、再現性に優れることが確認できました。また、表面形状測定機による測定により、ドーム構造は非常にきれいな釣り鐘型の 3 次元構造と断面形状を持つことが示されました（図 3c, d）。

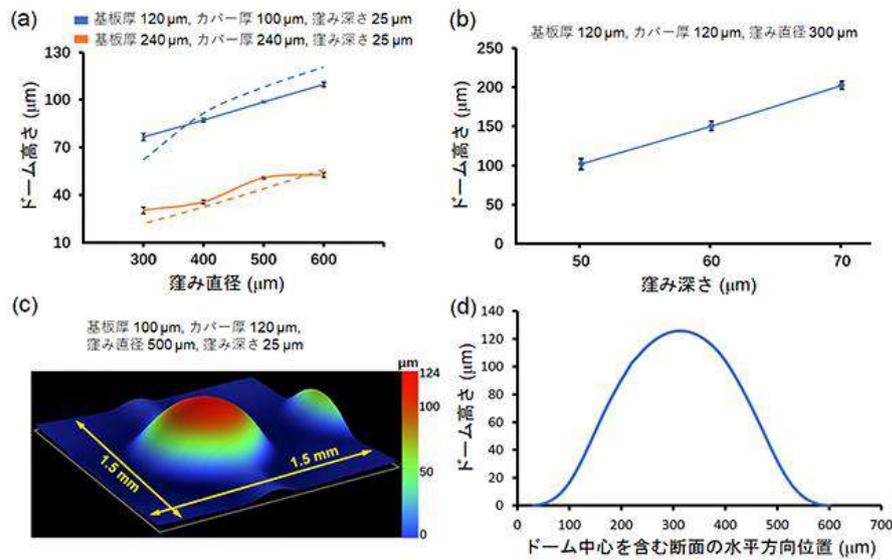


図3 ドーム構造設計条件の検証および立体形状の計測

さらに、作製したガラス微小ドーム構造がガラスレンズとして機能するかどうかを、定規目盛の観察により調べました (図 4a, b)。その結果、充填液を用いない「空洞レンズ」の場合は定規の目盛りが縮小されていること、充填液にミネラルオイルを用いた「充填レンズ」の場合は拡大されていることが確認できました。また、これらの倍率はレンズの直径に依存し、充填レンズの場合は最大 1.65 倍の拡大効果があることが分かりました (図 4c)。

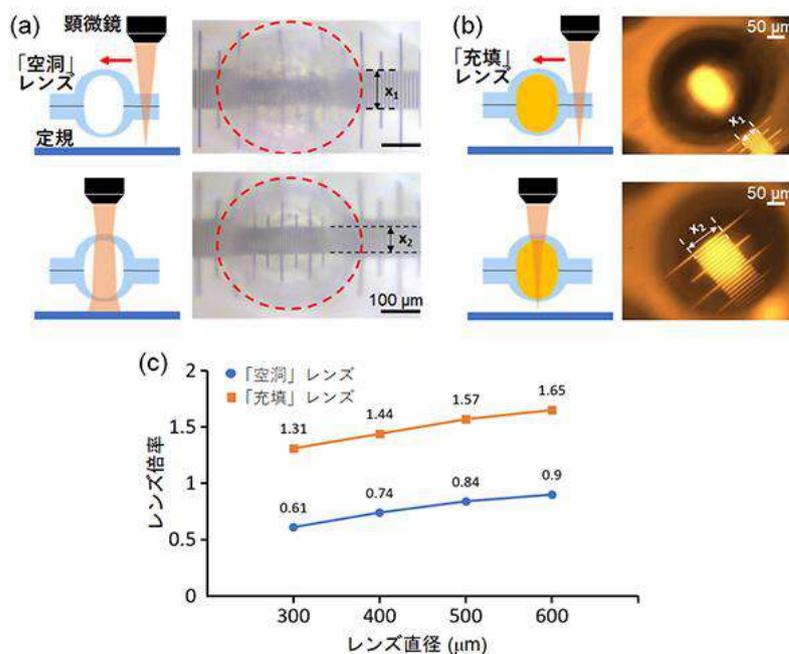


図4 ガラス微小ドーム構造のレンズ機能の検証実験

最後に、作製したガラスレンズが高温や強酸・有機溶媒中の環境下でも使用できるかどうかを検証しました。その結果、ホットプレートで300℃以上に加熱したガラスレンズは、充填液があっても機能が保たれること分かりました。また、強酸である硫酸中や有機溶剤のアセトン中でも、空洞レンズ、充填レンズともに機能することが確認でき、ガラスの特性が保たれることが示されました。

本研究成果は、次世代産業で重要となる分析用光学素子、マイクロ化学反応や医療向け細胞分離分析検査デバイス、基板組み込み型カメラの高精度マイクロレンズなどへの応用が期待できます。

論文情報

タイトル Thin glass micro-dome structure based microlens fabricated by accurate thermal expansion of microcavities

雑誌 Applied Physics Letters

DOI 10.1063/1.5123186

日文发布全文 https://www.riken.jp/press/2019/20191227_1/index.html

文：JST 客观日本编辑部翻译整理