

切削不要・成形可能な高機能シリカガラス

九州大学 グローバルイノベーションセンター

藤野 茂

Development of high performance functional silica glass without using machining device

Shigeru Fujino

Global Innovation Center

Kyushu University

1. はじめに

古代より人類はガラスと深い関わりがあり、多くの恩恵を受けてきた。石器時代には天然ガラスである黒曜石が調理器具、武器などに使用されていた。その後、古代メソポタミア（紀元前 3000 年）や古代地中海で人類の手により、ガラスが作られてきた。ツタンカーメン王の戴冠式用胸飾り（スカラベ）（図 1）には、隕石由来の天然シリカガラスが用いられてきた事実は、今から 20 年前になってようやく知られるようになった。今でこそ、技術革新の発展により、加工技術の精度は向上しているものの、スカラベの形状にシリカガラスを加工していた古代人の技術と労力には頭が下がる。

シリカは地球（地殻）の構成元素の約 75% を占めており、従来から天然の石英の結晶である水晶をはじめ、多量に利用されてきた重要な基礎素材である。シリカガラスは低膨張性、耐熱性、耐薬品性、絶縁性、紫外線～近赤外線での高透過率等の諸物性に優れ、今後も情報処理、通信のみならず次世代の環境、エネルギー



図 1 ツタンカーメン王の戴冠式用胸飾り¹⁾
(中央部がスカラベ形状に加工されたシリカガラス(純度 98%))

分野を担う基盤材料として期待される。筆者は、製造コストが高く、機械加工が難しいとされるシリカガラスの低温製造ならびに成形加工が容易な機能性ガラスの開発に挑んでいる。本稿ではその取り組みについて紹介させて頂く。

2. 切削不要、成形可能なシリカガラスを作製するには？

一般的に、シリカガラスは 1600°C 以上の高

〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1
TEL 092-583-8773
FAX 092-583-8773
E-mail: fujino@astec.kyushu-u.ac.jp

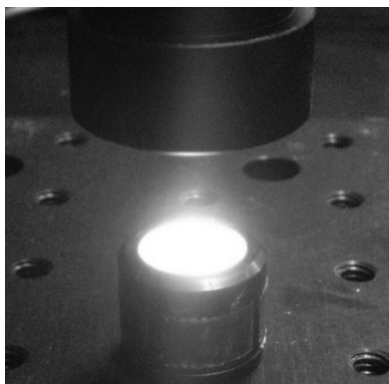


図2 UV-LED装置を用いた硬化過程

い温度で製造されることと、所望の形状に成形加工するには、多量の熱エネルギーと複雑な加工技術が必要である事などの問題点を抱えており、製造プロセスを簡略化した省エネルギー型透明シリカガラスの開発が長い間望まれてきた。本研究にて得られたシリカガラスの前駆体であるメソポーラスシリカを焼成することにより、可視光域で80%以上の光透過性を示す透明シリカガラス焼結体を得ることに成功した。メソポーラス物質の一般的な合成法は、界面活性剤を鋳型とした無機物質の自己組織化に基づいた手法であり、その形態は粒子粉末、薄膜に関する報告例が多い。これまでに、本研究室ではSiO₂分散液とPVA水溶液を用いてバルク状シリカガラスの作製を行っている。SiO₂ナノ粒子分散液とPVA水溶液を用いて混合し型に流し込んだ後、乾燥することでSiO₂/PVAメソポーラス体を作製し、それを大気中、1200℃で焼成することによりバルク状透明焼結シリカガラスを得ている^{2), 3), 4)}。シリカナノ粒子表面にPVAが水素結合することでゲル骨格が強化され、亀裂の無いSiO₂/PVAメソポーラス体を得ることができ、一定の成果が得られた。しかしながら、メソポーラス体の更なる複雑形状を得るためには、乾燥収縮の際、亀裂の発生要因となる課題を解決する必要がある。

著者の研究室では、“シリカ分散液を光で硬化させる”新規シリカガラス作製法を開発し



図3 右) メソポーラスシリカガラス, 左) 焼結シリカガラス

た⁵⁾。SiO₂分散液と、光硬化性アクリルモノマーを所定の比率で混合し、鋳型に流し込んだ後、光照射を行うことで液体を硬化させる(図2)。その後、離形を行うことでSiO₂/アクリルコンポジットメソポーラス体を得た。SiO₂ナノ粒子はpH=3近傍にゼータ電位がゼロとなる等電点が存在し、粒子表面に存在するシラノール基(SiOH)を介したSiO₂ナノ粒子間の凝集や、光硬化性モノマー中のOH基との水素結合による粒子表面への吸着が起こり易くなる。この特性を利用し、フュームドシリカの凝集サイズを数百nm程度に均一に揃え、混合液に光照射(UV-LED装置)することで、数十秒にて硬化した塊状メソポーラス材料を作製することができた(図3(右))平均細孔直径:約30nm, 全細孔容積:1.3cm³/g, 比表面積:195cm²/g, 空隙率:72%, 屈折率:1.165)。図3(右)に示したように、予めPDMS等の鋳型に転写したいパターンを形成しておけば、切削加工無しに、微細構造が形成できることが大きなポイントである。また、加工性に優れるため、ドリル先端の直径サイズに依存せず、機械加工を行い、焼結することで、微細な穴あけ加工が容易である。ガラス本体へのドリル加工は脆性破壊を起こしやすく、ドリルの刃を損傷する可能性があるため、表面微細加工は、リソグラフィとドライエッチングを組み合わせた半導体製造技術が現在の主流である。以上のこ

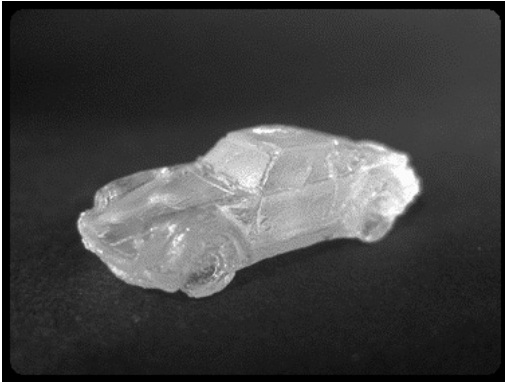


図4 複雑形状なシリカガラスも切削加工無しで作製可能

とからも、本メソポーラス体ではアスペクト比の高い微細な切削加工の可能性を示している。更に、1250℃にて焼成することで均等に収縮する透明焼結シリカガラスを作製することができた(図3(左))。液体が流し込んだ型のままの形状で硬化するため、3次元複雑形状のシリカガラス作製も容易となる(図4)。

3. おわりに

本手法はガラスビーカーと攪拌装置、焼成炉のみで製造できる省エネルギー型プロセスであり、特別な製造装置を必要としない。今後、ガラスの物性等、未解明な部分も多いため、研究すべき課題は山積しているが、ガラス製造用3Dプリンターの開発も視野に入れ、各種産業分野を支えるキーマテリアルになることを期待する。

参考文献

- 1) <http://mystiskaegyptien.tripod.com/Egipto7.htm>
- 2) S. Fujino, H. Ikeda, Journal of Nanomaterials, Article ID 584320 (2015)
- 3) H. Ikeda, T. Murata, S. Fujino, Journal of Composite Materials, 1, 7 (2015)
- 4) H. Ikeda, S. Fujino and T. Kajiwara, J. Am. Ceram. Society, 94, 8, 2319 (2011)
- 5) PCT/JP 2016/56625