

## ガラス内部に形成した異質相の三次元形状測定と 屈折率の非破壊測定

社団法人ニューガラスフォーラム つくば研究室

岩井 実, 田中 修平

### Shape observation of 3d-heterogeneous object in a glass and non-destructive measurement of refractive index

Minoru Iwai and Shuhei Tanaka

Nanotechnology Glass Project, New Glass Forum,

5-9-1, Tokodai, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 300-2635 Japan

はじめに

つくば研究室では、ガラス材料技術・ホログラム設計技術・ガラスホログラム作製技術・フェムト秒レーザー加工技術、そして評価技術の研究開発を行っている。すなわち、三次元デバイス形状の位相をコンピューターで計算し、結果としてそのホログラム情報を求め、これをガラス表層部に埋め込みガラスホログラムを作製する。このホログラムを通してフェムト秒レーザー光をガラス内部に照射し、物理化学的に異なる性質を持つ三次元領域（異質相）を高速で作製する。これらの全体技術の一翼を担う評価技術について紹介する。

#### 1. 概要

異質相と母材との屈折率差は非常に小さく、従来の方法ではガラス内部に形成された異質相の三次元形状の観察は不可能に近かった。そこで分解能が高い市販の三次元測定器<sup>1)</sup>に、以下に述べる光路長変化法の光学系を検討し、これ

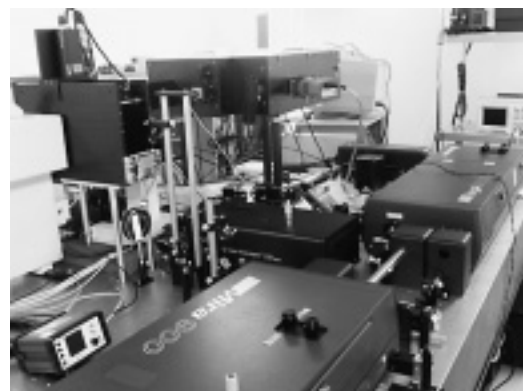


図1 つくば研究室の  
フェムト秒レーザー加工システム

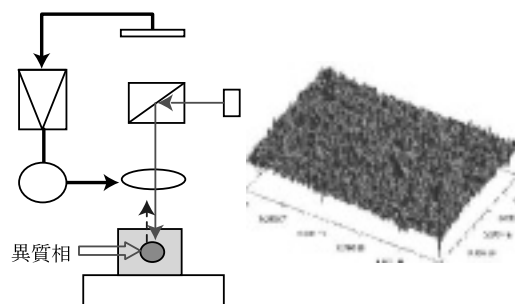
を取り入れることにより三次元形状の測定を可能とした。さらに光線追跡法<sup>2)</sup>により三次元測定結果を用い、ガラス母材と異質相の屈折率差の測定を可能とした。また、ガラス母材と層状異質相との屈折率差をダブルスリット法により非破壊での測定を可能とした。

以下に、これらについて概要を紹介する。

#### 2. 三次元測定器による形状測定

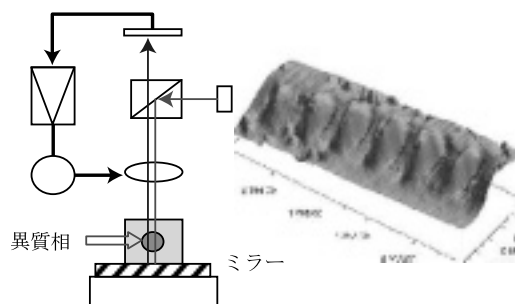
三次元測定器は接触式・非接触式にかかわらず外観部分の形状・寸法を測定するための装置である。つくば研究室にある三次元測定器も表面反射により表面形状をミクロンオーダーで測

〒300-2635 茨城県つくば市東光台 5-9-1  
TEL 029-848-1880  
FAX 029-848-1882  
E-mail: iwai@newglass-lab.jp



a) 構造図                      b) 測定結果

図2 改良前



a) 構造図                      b) 測定結果

図3 改良後

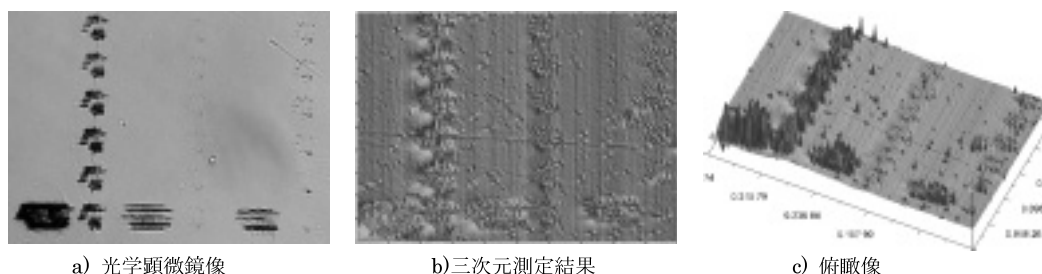
定する非接触式装置である。本装置では、ガラス内部の異質相は図2 b) に示すように測定できない。この原因は、ガラスの屈折率を1.5とすると表面での反射率は4%、また異質相の屈折率差を0.01とすると反射率は0.001%となり異質相での反射光強度が極端に弱いのである。高強度反射位置に焦点を結ぶという本測定器の特性を利用し、異質相を含むガラスの下面にミラーを配置した(図3 a))。この結果、測定レーザー光のピントをミラーに合わせるように対物レンズが移動するため、異質相の屈折率差に応じた光路長差がレンズの移動量となり、ガラス内部の異質相の測定が可能となった(図3 b))。

図4はフェムト秒レーザーを照射しガラス内部に作製した異質相を測定した例で、光学顕微鏡像図4 a) に比べ、三次元測定器での測定俯瞰像図4 c) は立体的な構造が観察できる。

### 3. 三次元測定結果を用いた屈折率差測定

屈折率差を求める方法は種々報告されている。ここでは三次元測定器による測定結果を用いた測定方法を紹介する。円柱状異質相断面を数層の同心円構造とし、光線入射高さ及び屈折率を変えて面間移行式と面屈折式により光線追跡を行い、各面間の幾何学長を求め、屈折率を掛けて光路長を求めた。測定値は光路長差なので、異質相の有る部分と無い部分との光路長の差を求め、測定値の長さ・形状となるように最適化を行った。

図5 a) は図3 b) で示した測定結果の一面断面で、幅は200 $\mu\text{m}$ で光路長差は10 $\mu\text{m}$ である。この寸法となる屈折率分布は、図6に示すように外側層の屈折率より1.46, 1.47, 1.49, 1.52で、屈折率差は0.06であった。図5 b) は光線追跡により求めた光路長差で図5 a)と同様な頂上部の凹みができている。

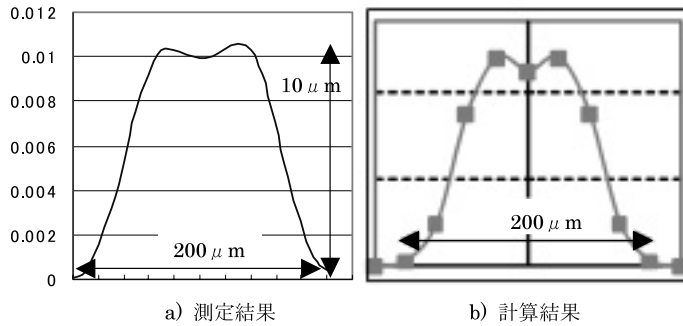


a) 光学顕微鏡像

b) 三次元測定結果

c) 俯瞰像

図4 ガラス内部異質相の測定例



a) 測定結果  
b) 計算結果  
図5 三次元測定器測定結果と光線追跡結果

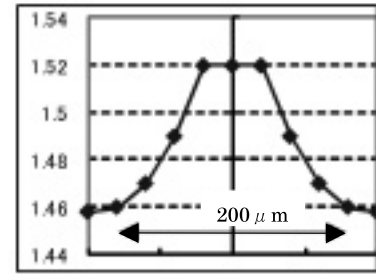
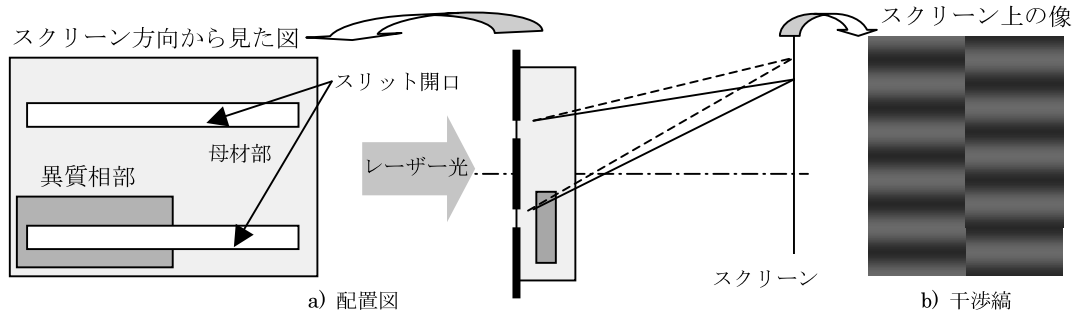


図6 屈折率分布



a) 配置図  
b) 干渉縞  
図7 ダブルスリット法模式図

#### 4. ダブルスリットを用いた屈折率差測定

ガラス内部の異質相が層状の場合、従来はこの層を削りだす破壊測定であったが、ここで紹介する方法は非破壊測定であり、ヤングの干渉実験の知見を用いる。この実験ではダブルスリットの開口部は同じ屈折率であるが、今回の測定では片側スリットの下半分に異質相を配置し干渉縞を変位させ、そのずれ量を測定し屈折率差を求める。これはレーレー・レーベの干渉屈折率計<sup>3),4)</sup>として気体屈折率の測定に用いられている。

層状異質相を持つガラスをスリット部に配置し(図7a)), レーザーをスリットへ照射するとスクリーン上に干渉縞が発生する(図7b))。この干渉縞の変位量を測定し、スリット間隔・スクリーンまでの距離及び層状厚みで計算し屈折率差を求めた。レーザー波長を変える

と異なる波長の屈折率差を求めることができる。532 nm, 633 nm, 670 nm, 784 nm の波長で測定した結果、屈折率差は各々 0.0063, 0.0069, 0.0074, 0.0081 が得られた。

#### 謝 辞

本研究は、経済産業省のプロジェクトである「<ナノテク部材イノベーションプログラム>三次元光デバイス高効率製造技術プロジェクト」の研究として、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託を受けて実施されたものである。

#### 参考文献

- 1) 上田良司, 田村雄一: 特開 2004-78069.
- 2) 松居吉哉: レンズ設計法 (共立出版 1972).
- 3) 石黒浩三: 光学 (共立出版 1970).
- 4) 久保田広: 波動光学 (岩波書店 1971).