

# ソーダ石灰ガラスの押し込み誘起高密度化とその圧子形状依存性

(滋賀県立大学・工学研究科) ○澤里拡志・吉田智・菅原透・松岡純

Effects of the indenter shape on the indentation-induced densification of soda-lime glass

○ H. Sawasato, S. Yoshida, T. Sugawara, J. Matsuoka (U. Shiga Pref.)

問合先 : e-mail yoshida@mat.usp.ac.jp

## 1. 緒言

ガラスにダイヤモンド圧子を押し込むと、永久変形(非弾性変形)が起こり圧痕が形成される。この圧痕形成のメカニズムは、室温における多くの酸化物ガラスにおいて「塑性流動」と「高密度化」の2つのモードに分けられる。「高密度化」されたガラスは、ガラス転移温度近傍での熱処理により緩和し元の密度に戻ることから、熱処理前後の圧痕体積を比較することによって、押し込み変形体積のうち「高密度化」の寄与を分離できる[1,2]。本研究では、この手法を用いて圧痕体積に占める高密度化体積の割合を算出し、その圧子形状依存性を評価した。

## 2. 実験

市販のソーダ石灰ガラス(松浪硝子製S-0050)を試料とした。超微小硬度計(Shimadzu DUH-201)を用いて、押し込み最大荷重は50~200mNとし、空気中で負荷除荷試験を行った。ダイヤモンド圧子として、三種類の正三角錐ダイヤモンド圧子を用いた。それぞれの圧子は、面角(試料面と圧子面のなす角) $\beta$ が異なっている。図1に、正三角錐圧子の形状と、キューブコーナー圧子、バーコビッチ圧子、10度圧子の面角を示す。

押し込み試験を行った後、圧痕の形状(対角長さ、深さ、体積)を、原子間力顕微鏡(AFM, Veeco NanoscopeE)を用いて観察・測定した。その後、ガラスを $T_g \times 0.9$ (K)で熱処理し( $T_g$ : ガラス転移温度)、圧痕の形状を再度測定した。熱処理により収縮した体積(高密度化された体積)、深さ、対角長さを求め、圧痕回復率(初期圧痕形状に対する収縮量の割合)を算出した。

## 3. 結果と考察

押し込み試験において、圧子接触投影面積 $A_c$ は、押し込み深さ $h_c$ の二乗に比例し、(1)式より求められる。

$$A_c = g \cdot h_c^2 \quad (1)$$

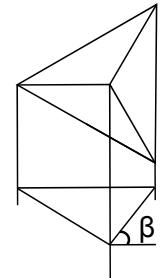
ここで、 $g$ は圧子形状係数であり、面角 $\beta$ を用いて(2)式より求められる。

$$g = 3\sqrt{3}(\tan^2 \beta)^{-1} \quad (2)$$

図2に、圧痕体積の熱処理による回復率と $g$ 値の関係を示す。 $g$ 値の増加とともに圧痕回復率(高密度化体積の割合)は増大する。これは、 $g$ 値の増加、すなわち圧子頂角が鈍角であるほど、圧子直下において圧縮応力の寄与が増大するためだと考えられる。一方、 $g$ 値が小さい鋭角圧子では、圧子直下でせん断応力の寄与が大きくなり、塑性流動による非弾性変形が優先的に起こるため、圧痕回復率が少なくなったと考えられる。

## 参考文献

- 1) S. Yoshida, J.C. Sangleboeuf, T. Rouxel, *J. Mater. Res.*, **20** (2005) 3404.
- 2) H. Sawasato, S. Yoshida, T. Sugawara, Y. Miura, J. Matsuoka, *J. Ceram. Soc. Jpn.* **116** (2008) in print.



(a) 10-degree  $\beta = 10^\circ$   
(b) Berkovich  $\beta = 24.7^\circ$   
(c) Cube-corner  $\beta = 54.7^\circ$

Fig. 1 Geometry of a trigonal pyramid indenter.

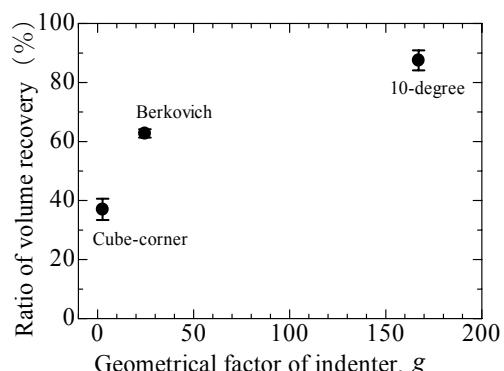


Fig. 2 Relationship between ratio of volume recovery and geometrical factor of indenter,  $g$  (indentation load is 50mN).

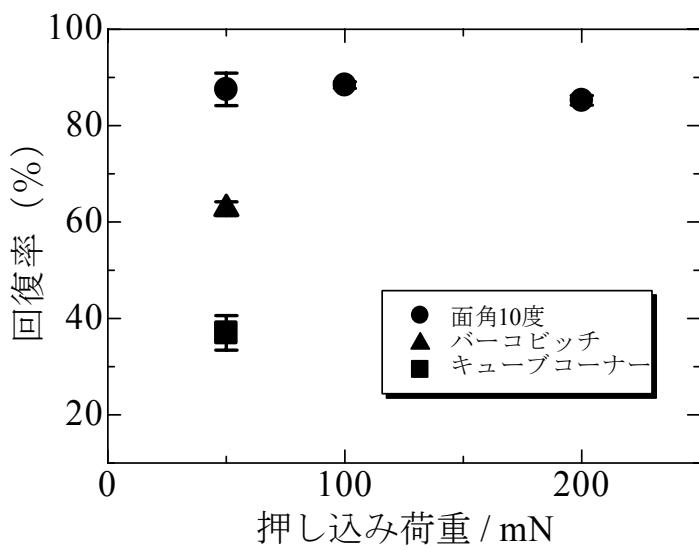


図2に、それぞれの圧子を用いて得られた荷重－変位曲線を示す。最大押し込み深さ $h_{\max}$ は、面角の大きな圧子ほど大きな値を示した。

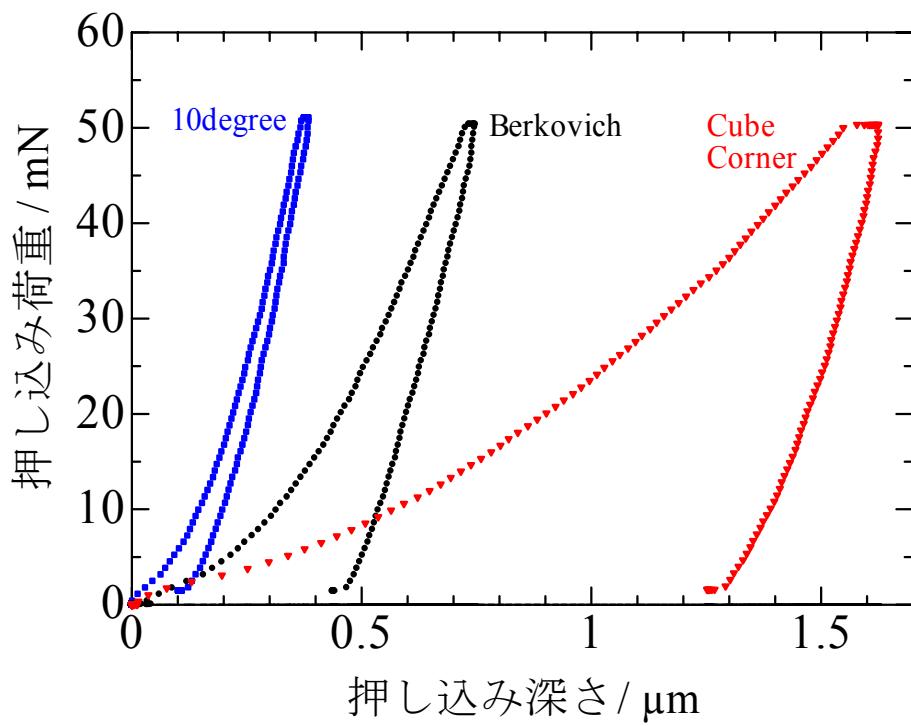


Fig. 4 Relationship between recovery ratio and indentation load (10 degree indenter).