

銀-, 銅-ステインガラスの光ウェーブガイド効果

岸 井 貫

(東京芝浦電気(株) 総合研究所)

ステインされたガラスは濃く着色した表面層を持ち、また表面の圧縮応力が小さいため、カリでイオン交換された化学強化ガラスに比べて、次のような特異性を示した。

- (1) 表面層内の巨視的な距離を光が伝ばすることができない。
- (2) 多重反射によるモードの選択がないため、伝ばモードの実効屈折率分布は鋭くない。
- (3) TE, TM 波間の実効屈折率分布の差は非常に小さいか、あるいは検知できないくらいであった。

(1978年3月9日受付)

Optical Waveguide Effect in Ag- and Cu-Stained Glasses

Toru KISHII

(R and D Center, Toshiba Corp., Kawasaki-shi 210)

As the stained glasses had dark-colored surface layers and had only small surface compression, following peculiarities were observed in optical waveguide effect in comparison with K^+ ion-exchanged, chemically strengthened glasses :

- (1) Light propagation in surface layers for macroscopic distance was not possible,
- (2) Effective index distribution of propagating modes was not sharp presumably due to the lack of mode selection by multiple reflection, and
- (3) Differences in effective index distribution between TM and TE mode were very small or not detected.

[Received March 9, 1978]

Key-words : Optical waveguide, Ion exchange, Chemical tempering, Surface stress. Stained glass, Light propagation, Photoelasticity

1. 緒 言

著者は、カリ塩中でイオン交換された化学強化ガラスの表面層で起きる光学的現象を観察し、これを光ウェーブガイド効果によるものと考えて解析した。更にこれを、ガラス表面の圧縮応力の強さと応力層の厚さを、非破壊的に測るのに活用したり。

この場合に、著者は、2, 3の問題が残されていると感じていた。すなわち、

(1) この現象が光ウェーブガイド効果によることを、別の方向からも確かめたい。

(2) 測定装置内に生ずる干渉じま(縞)は、しま形成の条件式から予想されるよりもはるかに鋭い。これは光伝ば中の表面での多重反射によって、条件を非常に良く満たすものだけが伝ばモードとして選択された結果と考えられる。この考えの裏付けが欲しい。

(3) イオン交換され、かつ表面応力が0に近い試料

で応力を測った時に、0に近い値が得られることを確かめたい。このような試料はカリイオンによる交換では得られなかったからである。

このような希望あるいは目的は、銀や銅でイオン交換されて表面着色したステインガラスを使って達せられた。本報にその結果を記す。

なお光ウェーブガイド効果について、簡単に記す。イオン交換されたガラスの表面層内に、表面ほど屈折率が高いような屈折率こう配があると、光はこの層内に捕えられ、発散しないで伝ばする。表面層の厚さは光の波長と近いけたの値なので、光は層内に有限個の離散的なモード(伝ば形式又は姿態)としてだけ伝ばする。モードのでき方や数は、屈折率分布や層の厚さによって決まる。モードの数やでき方から層内の屈折率分布、光弾性的複屈折などを逆に推算できる。

Table 1. Salt bath composition (mol%).

No.	NaNO ₃	AgNO ₃	CuCl
1	80	20	0
2	80	15	5
3	80	10	10
4	80	5	15

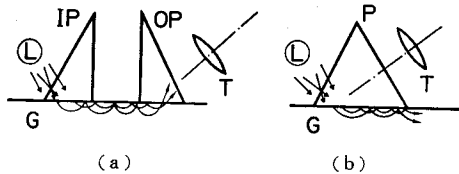


Fig. 1. Arrangements for observing propagation constant distribution in a layer. (a) : Bright fringe method, (b) : Dark fringe method. L : Monochromatic light source, G : Glass, IP : Input prism, OP : Output prism, P : Prism, T : Objective lens of a telescope.

2. 実験方法

市販の板ガラス (SiO₂ 72, Al₂O₃ 1.8, CaO 6.7, MgO 4.0, Na₂O 13.8, K₂O 0.8, SO₃ 0.2, As₂O₃ 0.07, Fe₂O₃ 0.08 wt%) を表 1 に示す溶解塩に 400°C で浸漬した。

光ウェーブガイド効果を, 図 1 に示す二つの方法で観察した。

輝線法では, 光が入射プリズムから表面層に入り, 伝ばモードを形成した光だけが射出プリズムに達し, 空気中へ出てくる. 同一モードに属する光は, 望遠鏡の対物レンズの焦点面上の同一点に集まり輝線を作る。

暗線法では, プリズムから入射した光は表面層内に入り, ここにある屈折率こう配のため進路を曲げられ, 反転して射出される. しかし伝ばモードを形成しうる角度で入射した光だけは右方へ逃げるので, これに対応する射出角の光が欠けており, 対物レンズの焦点面上に暗線が現れる。

これらの輝線又は暗線の数は, 表面層内に存在しうるモードの数を示す. またこれらの位置は各モードの実効屈折率 n_{eff} に対応する臨界屈折光の到達する位置と一致する. 実効屈折率は, モードを形成する光の経路の最深部でのガラスの屈折率である。

偏光板によって, 観察に使う光の振動方向を選択することができる. 振動方向により輝線又は暗線の位置が変わるならば, それは表面層内に複屈折があって, 屈折率分布が光の振動方向により違うからだと解釈される. 複屈折は層内の応力による光弾性効果の結果であるとすれば, 応力を推算することができる。

輝線法と暗線法とは, 観察する図形の明暗が逆転しているが, それ以外は全く同じ結果を与える (図 2). 輝線と暗線とを, 一括して干渉じまと呼ぶ. 表面着色が濃

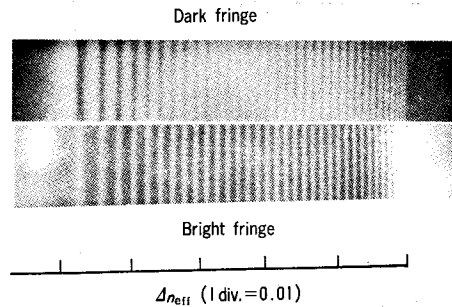


Fig. 2. Mode index distribution of a sample observed by dark and bright fringe method.

いと輝線法は適用できなくなる。

表面層内の応力分布, 屈折率分布を, 表面に垂直な断面で切って作った薄片の顕微光弾性装置及び干渉顕微鏡で観察し, 求めるよう試みた。

3. 実験結果

3.1 応力分布

光弾性観察の結果を図 3 に示す. 表面層内の着色のためやや明りようさを欠くが, 応力の最大値は 4 kg/mm² くらい, 表面ではこれよりも低いと考えられる. この値は, カリでイオン交換された化学強化ガラスの応力の 1/15 以下である。

3.2 屈折率分布

いずれの試料も, 表面に非常に大きい屈折率こう配があり, 図 4 ではそのすその部分しか明りようになっていない. この層の厚さは, 表 1 の塩 1, 2, 3, 4 でそれぞれ 1.5 時間処理した試料では約 90 μm, 85 μm, 32 μm 及び 20 μm であった. これらの表面層はいずれも着色していた. しかし外見上は, AgNO₃ の多い塩で処理されたものは濃く着色し, AgNO₃ 10, 5 mol% の塩で処

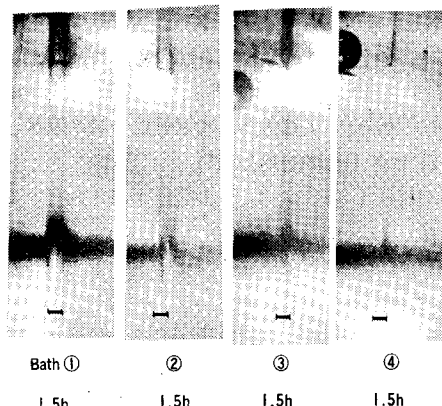


Fig. 3. Thin section photoelasticity of samples. Thickness of samples : 0.3 mm. Bars in the figures show 100 μm.

理されたものは表面の薄層に変色がわずかに認められる程度であった。

3.3 光ウェーブガイド効果

AgNO₃ が 10 及び 5 mol% の塩で処理されたガラスでは、カリ塩で処理されたガラスの場合と同じく、干渉

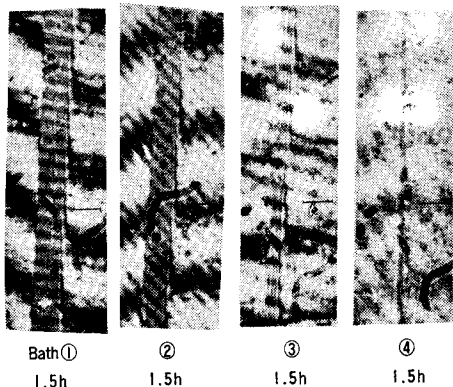


Fig. 4. Refractive index distribution observed by an interference microscope. Bars in the figures show 100 μ m.

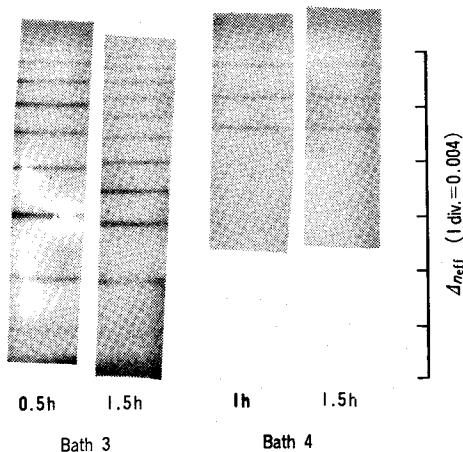


Fig. 5. Mode index distribution of samples treated at 400°C in salt bath 3 and 4 for times indicated (dark fringe method).

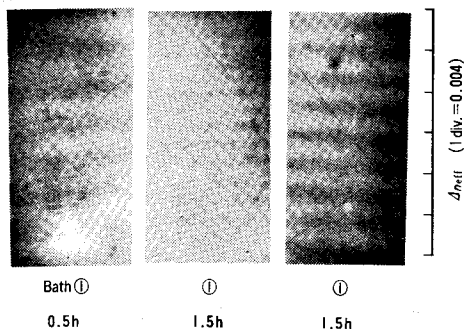


Fig. 6. Mode index distribution of samples treated at 400°C in salt bath 1 for times indicated (dark fringe method).

じまは鋭く、しまの配列範囲、すなわち実効屈折率の変化範囲も、カリ塩による化学強化ガラスの場合と同じくらいであった (図 5)。ただし、最も浅い経路をとるモードによるしまはぼけている場合もあった (図 5 bath ③)。これは表面着色のため長距離伝ぱができず、モード選択作用がきかないためと考えられる。

偏光板をそう入して、表面に平行 (TE 波) 及び垂直 (TM 波) に振動する光でそれぞれ観察した場合、しま

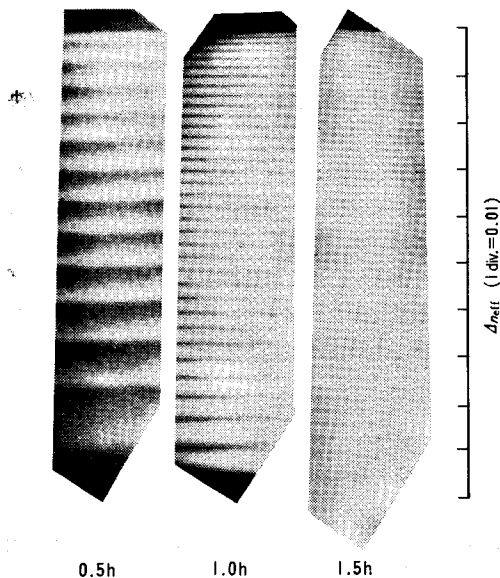


Fig. 7. Mode index distribution of samples treated at 400°C in salt bath 1 for times indicated (Left: Bright fringe method, Middle and Right: Dark fringe method).

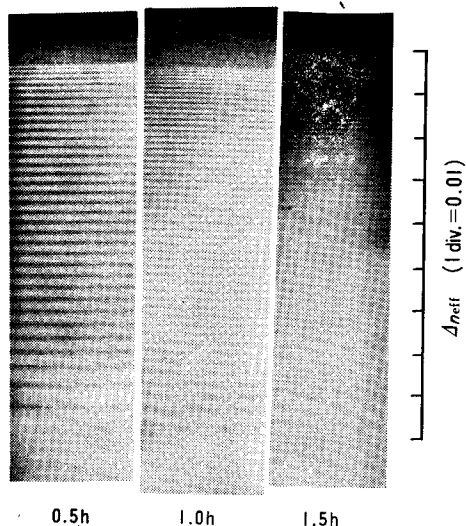


Fig. 8. Mode index distribution of samples treated at 400°C in salt bath 2 for times indicated (dark fringe method).

の位置の差はしま幅と同程度のわずかなものであった。

AgNO_3 が 20 及び 15 mol% の塩で処理されたガラスでは、しまの配列範囲が 10 倍以上に広がり、干渉じまもぼけており(図 6)、また処理時間が短ければ輝線法が適用できた(図 7)が、処理時間が長くて着色が濃いものは暗線法でしか観察できなかった(図 8)。これらの試料では、表面と内部との屈折率差が 0.1 以上である。これは Stewart ら²⁾の観察結果と一致している。TM, TE 波間でのしまの位置の差は検知できなかった。

4. 討 論

以上の実験結果を得て、緒言中に記した問題点が解決された。すなわち、

(1) 表面着色の濃い試料で輝線法が適用できなくなることは、この光学現象が表面層内を伝わる光によることを裏付ける。

(2) したがって、表面着色があると光の長距離伝ばと表面での多重反射とが起きず、モード選択作用がゆるくなって干渉じまがぼける、と解釈される。

(3) イオン交換されても、カリによる場合と違って表面応力が小さいので、光の振動方向による干渉じまの位置の差はごく小さく、特にしまがぼけている時は検知不能であった。これは振動方向によるしまの位置の差が応力に比例するという理論的予測を裏付ける。

Stewart らは、着色しないような条件で銀イオンを拡散させたガラス中で、光ウェーブガイド効果による干渉じまが鋭いことを観察した²⁾。したがって、本報で見いだしたしまのぼけは、銀の存在自体によるのではなく、表面着色が原因と考えられる。

銀でイオン交換したガラスで、実効屈折率 n_{eff} の分布が 0.1 の範囲に及び、カリによるものの 10 倍もある。この点では、本報と Stewart の場合²⁾とは一致している。

文 献

- 1) 岸井 貫, 窯協, 87, 119-26 (1979).
- 2) G. Stewart, C.A. Milar, J.R. Laybourn, C.D.W. Wilkinson and R.M. DeLaRue, *IEEEJ Quantum Electronics*, QE-13, 192 (1977).