

「強化ガラスと光エレクトロニクスの出逢い」

Tempered glasses and Optoelectronics.

岸 井 貫 千葉工業大学研究所 教授

問合せ/キシイ トオル 〒275 千葉県習志野市津田沼2-17-1 ☎(0474)75-2111

昭和40年代後半に東芝総研に居て、化学強化（イオン交換強化）ガラスの開発に伴う評価技術を工夫していた。化学強化ガラスは熱強化ガラスと同じく表面に作り込まれた圧縮応力（20～100kg/mm²）で強化されており、表面応力はガラスの強度と、応力層厚さは疲労や経年劣化への耐性と関係するので、これらの測定が品質・工程管理上で重要である。

ガラス素材をKNO₃ 溶融塩に浸すと、表面でガラス中のNa⁺ ↔ 塩中のK⁺ という一対一の交換が起き、両イオン間の半径差のためイオン交換層内に強い圧縮応力が発生する。応力と応力層厚さとは、表面に垂直に薄片を切り出し偏光顕微鏡で光弾性観察をする方法で測っていた。

表面に応力で光弾性的に誘起された複屈折Δnを測り、応力=Δn / (ガラスの光弾性常数) という関係から応力を測ろうとした。複屈折計を作って強化ガラス表面を観察したところ、思いがけなく図1のような光條模様、しかも眼前に置いた偏光板の軸方向により互に交替する模様が現れた。この現象を理解できなかった。

この時に「イオン交換ウェーブガイドでの表面音響波による音響光学的偏向(英文)」Electronics Letters 28th Nov. P.518 (1974) を見付けた。著者は日電・東北大・日本板硝子の6人の方々であった。イオン交換で屈折率の高まったガラス表面層が光を伝え、取り出された光が光條模様を作り、さらに偏向されて光條

が分裂する状況が目で見える内容であった。

早速日電中研をお訪ねした。東芝総研からは近かった。斎藤富士郎・近藤充和のお二人が会って下さった。狭いガイド中を伝わる光の「伝播モード」のことを教えられ、日本での発表の予稿のコピーを含め数編の資料を頂いて帰った。図1の光條は表面層内に立つ伝播モードに対応することが解った。

次の問題はモードの立ち方（光條の配列）から表面層内の屈折率分布、特に表面の複屈折Δnを知ることである。この逆の導出は、波動関数を境界条件下で解き、特に「W-K-B」近似を使って可能らしかったが、これでも私の力を超えていた。

この時に役立ったのはHocker, Burns「任意の屈折率分布の光ウェーブガイド中のモード(英文)」IEEE J. Quantum Electronics, QE-11 [6] 270 (1975) である。媒質中を幾何光学的経路に沿って進む光について、光路長をコンピュー

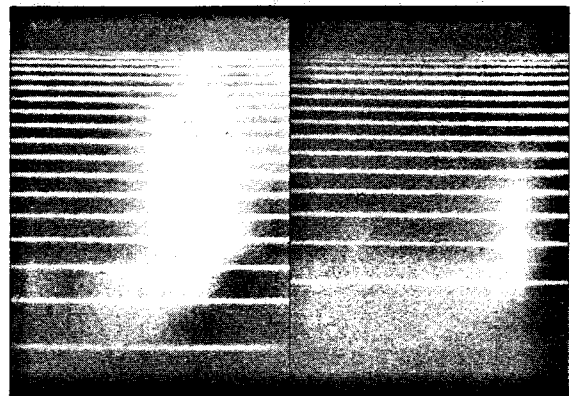


図1 化学強化ガラスが表わす光像の例
偏光板の軸の角度により二つの像が互に交替する。左がいわゆる「TMモード」、右が「TEモード」による像である。

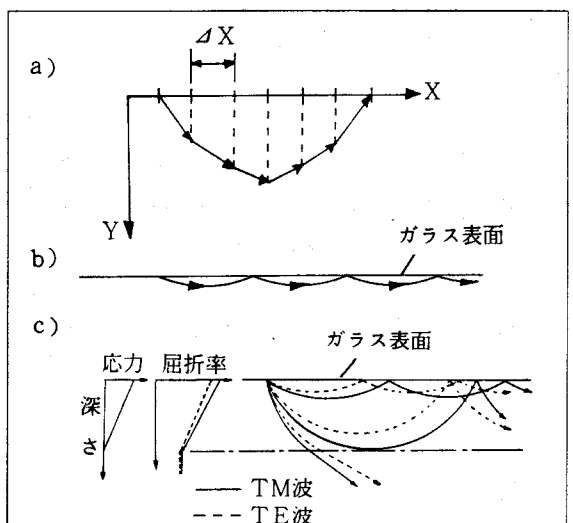


図2 屈折率勾配のある層内の光の幾何光学的経路
a) Hocker, Burns の報文の図
b) 多重反射を繰り返しての伝播
c) 筆者のモデル
左: 応力分布, 中: 屈折率分布 二つの偏光TM波, TE波について記す, 右: 光の経路(同上)

ターを使って差分-累積計算で求め、これをモード形成条件に使っていた(図2 a).

これと思いを合わせる経験もあった。昭和41年にフランスのサン・ゴバン社研究所を訪ねた時に「化学強化ガラスの表面層内に屈折率勾配があるので、注入された光は表面へ戻り、全反射して同じことを繰り返す(図2 b)。全反射点の間隔から強化度が解る。」と教えられた。

これらを結んで、屈折率勾配は一定、光の経路の曲率半径は屈折率勾配の逆数で一定(数十mm)、従って経路は円弧の一部、という近似で式を立てた(図2 c)。幸いにも計算は解析的に実行でき、幾何光学的な明確なモデルができ、現象の見通しが良くなった。光條模様から屈折率勾配と表面複屈折 Δn が求まり、次に最高次モードの光経路の最深点から屈折率勾配が消える深さ(K^+ イオンの侵入深さ・応力層厚さでもある。)が決まる。これらは光像だけから非破壊で求まる。一方で、光の振動方向による区別をして計算する必要が無いことは別の実験事実

から解っていた。この考え方による表面応力計は当時普及し終ったばかりの腕時計用カバーガラスに多数利用された。品質管理担当の方々に「薄片法に比べ所要時間が1桁減った。」と喜ばれた。現在ではフォトマスク・眼鏡・板・瓶・航空機用の各ガラスへも適用されている。

この原理は次に同じ効果を持つフロート法板ガラスの熱強化品に適用できた。このガラスは素材製造工程中に熔融錫溶に接してイオン交換し、表面に高屈折率層を作るからである。さらにこのような効果の無いガラス製品には、ガスレーザー光を注入して臨界屈折光を励振し Δn を測れるようにした。このような改良を重ねて平成元年に「光弾性」により科学技術庁長官賞を頂いた。

今振り返ると幸運な事情が他にもあった。表面複屈折計の考えは40年近く昔にさかのぼるが、20年前頃までには十分な成果が挙っていなかったように見える。原因は光源に単色性の十分な光を使わなかったこと、光ウェーブガイド効果を表

面に持ち明るく鮮鋭な光像を示すガラス製品が無かったこと、従って像は不鮮明であったりその解釈もできなかつたりしたこと、等であろう。私の場合はスペクトル用ランプやレーザーを自然に使ってしまう環境にあったし、化学強化ガラスやフロート法板ガラスが普及し始めた時期であった。また光エレクトロニクス技術の開発が活発であったが、イオン交換ガラスを光集積回路に使う研究は一段落し(現在は電気光学結晶基板を使う研究が主であるように見える。)、ウェーブガイド中の伝播モード形成理論の発表が多く、現象の波動光学的・幾何光学的な解釈が出来始めた時期でもあった。

表面応力計について言えば、ガラスを製造・加工・使用する各業界で積極的に導入をはかって下さる方々、改良・新用途のアイデアを出して下さる方々に恵まれた。その結果 J I S R 3222「倍強度ガラス」(平成2年)で測定法に採用して頂いた。これは大変嬉しいことであった。

新刊書評

イオン工学技術の基礎と応用

平尾 孝・新田 恒治・三小田真彬・早川 茂

発行 平成4年4月 ㈱工業調査会

イオン工学技術についての従来の成書は、原理、装置、応用各分野の専門家の分担執筆かシンポジウムのプロシーディングであることが多く、内容的に高度であり、かつ大部でもあって、イオン工学に入門するにあたり必要にして十分な知識を得たいと思う向きには適しているとは言えない。これに対して本書はイオン工学技術を使う立場から、概要や特長、問題の見通しを念頭に置いて書かれてい

るために通読し易く、またイオン工学センターの装置について随所に触れることによって、イオン技術が最新の装置との関連において述べられているのが特徴である。

章立ては基礎事項、イオン注入、ミキシング、薄膜形成、微細加工、集束イオリビーム、分析技術から成り、数式や専門的記述は必要最小限にとどめられている。原理や現象の基礎、装置およびプロ

セス技術に多くの紙面が割かれ、応用については材料表面改質よりもデバイスに重点が置かれている。しかし全体を通じて言えば、材料学に携わる人も知っておくべきことがほとんどであり、先端技術への入門書として、またイオン工学研究者や技術者への最新情報書として、一読をお奨めしたい。

(A5版、274ページ、3,420円)