

第56回日本セラミックス協会技術賞を受賞して 結晶化ガラスフェルールの 開発と工業化

Development of Glass-ceramic Ferrules

(グループ代表) 稲田 勝美

Katsumi INADA (Nippon Electric Glass Co., Ltd.)

1. はじめに

フェルールとは光ファイバーコネクタ（光コネクタ）内に使用されるキャピラリー状部品のことを指す。図1に示すように光ファイバーをフェルールに挿入・接着し、先端を研磨した後スリーブ内で突き合わせることで低損失な光信号の接続が可能になる。光ファイバーを正確に対向させるため、フェルールにはサブミクロンの寸法精度、高耐摩耗性、高強度、さらに高温高湿下での材質および寸法安定性が要求される。従来からフェルール材料には主にジルコニアが使用されているが、内外径の精密研磨が必要なこと、先端研磨に時間がかかること、さらに高温高湿下で結晶転移にともなう体積変化が起こること等の問題が指摘されている。

筆者らは、線引き法によって高精度で高効率な延伸成形が行え、かつ、フェルールに適した特性を有する結晶化ガラスを創製し、高性能で安価な結晶化ガラスフェルール（Glass-ceramic ferrule; GCF）を開発した。GCFは①結晶化させてから線引きすることで優れた寸法精度と特性が発現するプリフォーム（結晶化プリフォーム）の開発、②高効率な線引き成形のための計測および制御技術の開発によって工業化された。本稿ではこれらの技術およびGCFの特性について概説する。

2. 結晶化プリフォーム

従来、結晶化ガラスの線引き成形には線引き中の失透、

および結晶化時の寸法変化という宿命的な課題があった。筆者らは、あらかじめ結晶化させたプリフォームを線引きするという新たな方法によってこの課題を解決し、フェルールとして十分な寸法精度と特性を有する結晶化ガラス毛細管の成形を可能にした¹⁾。

結晶化プリフォームは、微細結晶の析出が可能で優れた機械的、化学的耐久性を有するLi₂O-Al₂O₃-SiO₂系ガラスから成り、約1000℃で結晶化を行って熱的に安定なβ-スポジューメン固溶体（粒径：約0.3μm）を析出させたものである。熱軟化性を付与するために結晶化プリフォームの結晶析出量は約50vol%で飽和するように設計されている。このプリフォームを加熱すると、結晶以外の残存ガラス相が流動することによってプリフォーム全体が線引きに適した粘度（10⁵～10⁶Pa・s）にまで軟化する。線引きによるプリフォーム表面積の増加は線引き中の新たな結晶化や結晶転移の原因となり得るため、結晶化プリフォームには熱力学的安定度が高い組成が選択される。

3. 線引き成形

結晶化プリフォームの線引き成形では、内外径および線引き速度の計測と制御が重要課題となる。内外径をオンラインで同時に計測するため特殊センサーを用いた計測システムを開発し、内圧制御によって内径を外径とは独立に制御できるようにした。線引き速度は駆動ローラーの回転数制御のほか、線引き後の製品の移動速度を直接計測してフィードバック制御を行っている。

図2に、切削によって中心孔を形成した結晶化プリフォームを1180℃で線引きした際の軟化変形部、および線引き後の毛細管の寸法精度を示す。図から、結晶化プリフォームは非晶質ガラスと同様に滑らかな軸対称形に延伸されていることが分かる。得られた結晶化ガラス毛細管は、図中に示すようにフェルールとして十分な寸法精度を有しているため内外径の研磨を行う必要がない。さらに、この毛細管はあらかじめ結晶化しているため結晶化のための熱処理を行う必要がなく、切断、面取りおよびフランジ付け等の簡単な加工を経てGCFに仕上げられる。GCF製品の外観を図3に示した。

4. GCFの特性

表1にGCFの諸特性をジルコニア、シリカガラスおよびホウケイ酸ガラスと比較して示す。表に示すように、GCFの曲げ強度は約700MPaと光コネクタ用フェルールとして十分な値を有し、高温高湿下でも強度劣化を起こさない。また、GCFは表面に微細結晶が存在することによって高い耐摩耗性を有し、光コネクタとしての500回の繰り返し接続にも耐えることが確認されて

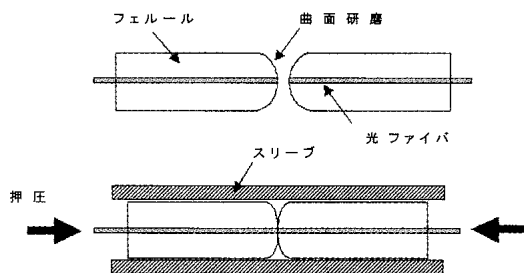
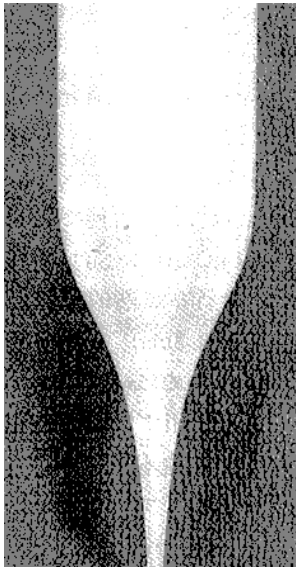


図1 光コネクタの接続原理



線引き後の精度

内外径 : $< \pm 0.5 \mu\text{m}$

同心度 : $< 1 \mu\text{m}$

真円度 : $< 1 \mu\text{m}$

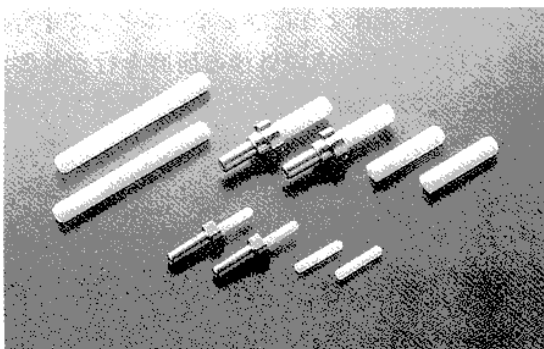
図2 結晶化プリフォームの軟化変形部

表1 GCFの諸特性

	GCF	シリカガラス	ZrO ₂	ホウケイ酸ガラス
曲げ強度 (MPa)	700	140	1350	250
熱膨張係数 ($\times 10^{-7}/\text{K}$)	30	6	85	50
ビッカース硬さ (H_V)	700	760	1200	550
ヤング率 (GPa)	80	70	190	70
被研磨速度* ($\mu\text{m}/\text{min}$)	21	26	2	34
体積変化** ($\times 10^{-6}$)	N.D.	N.D.	1000	N.D.

* Al₂O₃ #1200 スラリー, 24.5kPa

** 85°C, 95% RH, 1500h N.D.: 検出せず



10mm

図3 GCF製品の外観

いる²⁾。フェルールに光ファイバーを装着した後に先端を研磨する際、フェールの被研磨速度が光ファイバーより小さいと研磨によって光ファイバーがフェール面より引き込まれ、光信号の接続を妨害する。表に示すようにGCFは硬さおよび被研磨速度がシリカガラスと同等であるため、研磨による光ファイバーの引き込みが起こらない。したがってGCFはジルコニアフェールに比べて容易に先端研磨を行うことができる³⁾。さらにGCFのヤング率がシリカガラスのそれに近いため、突き合わせ時の弾性変形によるフェール先端の密着が容易であり、研磨面の曲率半径や頂点ずれなど研磨規格を大幅に緩和することが可能となる⁴⁾。また、GCFは高温高湿環境下での材質および形状安定性に優れ、かつ熱膨張係数が小さい。これらの特性は過酷な環境にさらされる屋外使用やロスによる温度上昇の考えられるハイパワー光ファイバーへの適用における高い接続信頼性確保に寄与している。

5. まとめ

結晶化後に線引き成形することが可能な新規な結晶化ガラスを開発し、精密結晶化ガラス毛細管の連続生産技術を確立した。結晶化ガラス毛細管から製造されるGCFは、光コネクタ用フェールとして優れた特性を有し、高性能で安価な光接続部品として情報通信社会に貢献してゆくであろう。

文献

- 1) A. Sakamoto, M. Wada, H. Takeuchi and M. Ninomiya, Proc. 18th Int. Conf. Glass, C6, 62 (1998).
- 2) R. Nagase, Y. Takeuchi and S. Mitachi, *Electronics Letters*, 33, 1243 (1997).
- 3) 坂本明彦, 和田正紀, 森下裕一, 野呂治人, *Materials Integration*, 13 [9] 25-30 (2000).
- 4) 三田地成幸, 橋本一樹, 米川伸行, 信学総大, C-5-9 (2002).

[所属先] 日本電気硝子(株) 技術部 (坂本明彦)

(〒520-8639 大津市晴嵐2-7-1)
E-mail: asakamoto@neg.co.jp

同受賞グループのメンバー: 竹内宏和, 坂本明彦

(受賞者の業績, 推薦理由および略歴は本誌4月号を参照)