



光ヒューズ — 過剰光を自律的に遮断する安全デバイス —

物質研究所機能性ガラスグループ 轟 眞市
TODOROKI.Shin-ichi@nims.go.jp

高強度光源の普及に伴い安全管理を容易にするデバイスが求められている。表題のデバイスを光ファイバ回線中に作製する技術を紹介する。低軟化点ガラスを介して融着したシリカガラス製ファイバに炭素含有被覆を施す単純な構造で実現でき、既存の金属薄膜挿入型光ヒューズに比べ、切断閾値を高く設定できる（2 W以上）。

技術の背景

最近のレーザ光源の高出力化はめざましく、ファイバレーザの高効率励起や多結晶体による大型レーザ等の技術により、kW 級のレーザが容易に実現できるようになってきている。高出力光源と光ファイバを用いた応用製品・サービスは、光通信、材料加工、医療等に留まらず、今後も拡大していくのは間違いなく、それと同時に高強度光を安全に取り扱う技術も必要になってくる。高強度光が何らかの原因で光吸収体に導かれると、そこで熱やプラズマが発生し、周囲を巻き込んでの損傷に至る。原因となる例としては、光コネクタ端面への異物の付着や、光ファイバケーブルの急激な曲げなどがある。このような局所的エネルギー集中が起爆剤となって、ファイバヒューズと呼ばれる連鎖的損傷発生が光ファイバに沿って光源に向かって伝搬する現象が発生することも知られている。

こういった障害発生を未然に防ぐために、過剰光を検出すると信号を送って光源の出力降下に帰還させるシステムが通常組まれるが、このような機能をデバイスレベルで実現できれば、システムの小型化や低コスト化につながる。現在あらゆる電気製品にヒューズが取り付けられていることを考えれば、安価で信頼性の高い光入力制限素子を実現させると、その利用範囲は広大なものになると期待できる。

技術の概要

このような背景のもと、発表者は全く新しい構造を持つ光ヒューズの開発に成功した。低軟化点ガラスで光ファイバ回線を融着接続し吸光性塗料で被覆した構造(Slide 1 (1))において、波長 $1.54 \mu\text{m}$ の連続光を注入し、その強度を増加させていくと、1.3W 付近で突然閃光が発生した(Slide 1 (2))。その直後の写真(Slide 1 (3))を見ると、融着ガラスの消失が観察された。

この素子に繋がる一方の光ファイバ(単一モード、コア径約 $10 \mu\text{m}$)から入射した光は、融着ガラス部を通過して、もう片方の光ファイバへと伝搬される。融着に用いたガラスは伝搬光に対して透明であるが、内部に導波構造が設けられていないので、一部の光が外部に洩れることになる。その光は、側面に塗られた被覆に吸収されて熱に変換される。(Slide 2 右上) よって、強力な光が入射すれば、それに比例した熱が発生し、融着部分近傍の温度を上昇させ(Slide 2 右中)、最終的に回線の切断に至る(Slide 2 右下)。

ヒューズ動作の反応時間は数百ミリ秒程度である。この比較的遅い反応時間は、過剰光の通過から回線切断までにガラスの昇温に伴う変形という熱過程を介しているためである。しかしながら、切断閾値は既存の光ヒューズよりも高く設定することができる(Slide 3 参照)。

Slide 4 に光ファイバを融着するのに用いた装置の構成を示す。光ファイバ調芯器の中に小型の加熱器を設置し、金板上でガラス原料粉体を熔融する。加熱器上の液滴に対し側面から光ファイバを挿入し、その後液滴を加熱器ごと下降させ、光ファイバで挟まれた空間に微量の融液を残す。融液が冷えて固化しないうちに、所定の位置に光ファイバを移動させる。今回の光ヒューズの場合、シリカガラス製光ファイバを純 TeO_2 ガラスで融着した。この構造は以下の2つの点で興味深いものがある。熱膨張係数が2桁異なる材質を接合している点と、非常に結晶化し易い純 TeO_2 融液がガラス状態を保って固化している点である。

大きな熱膨張係数差に関しては、接合面積が非常に小さい(125 μm ϕ)ので、発生する残留応力が小さく抑えられ、破壊を免れていると考えられる。純 TeO_2 融液がガラス化したのは、光ファイバの先端に採取された数ナノリットルの融液が超急冷されていることを意味している。すなわち本方法は、熱的安定性の低いガラスであっても光ファイバに接続することを可能とし、またその後の光学研磨等の整形工程を必要としない。

今後取り組むべき課題として、材料の最適化、動作の再現性の確保、および製造法の洗練が挙げられる。光ファイバ融着材料と吸光性塗料の組み合わせで、どの程度特性を制御できるのかを明らかにする必要がある。また、ヒューズを始めとする安全部品は、確実に動作するという信頼性が確保されない限り、利用はみこめない。今回用いた作製方法は、いわばマイクロスケールのガラス細工であり、特性の揃った素子を大量に生産するには不向きな方法である。より洗練された製造方法の開発が望まれる。

技術の特徴

- 融着ガラス部からの洩れ光で炭素被覆を加熱・発火 (Slide 2)
- 反応速度は遅い(>100ms)が、単純な構造で高閾値 (Slide 3)
- 大気中で微量ガラス融液を光ファイバで採取し成形 (Slide 4)

関連特許出願状況 国内特許出願中

光ヒューズ **遮断現象**

Slide 1

動作原理 **構造と仕組み**

- 50 μm 厚の **低融点ガラス層**
+ 炭素被覆
- 導波構造無し
挿入損失 < 1dB
- 洩れ光 \Rightarrow 熱
 \Rightarrow 発火
 \Rightarrow 軸ずれ
 \Rightarrow 損失 \uparrow

Slide 2

性能 **既存の光ヒューズとの比較**

	本研究	既存の光ヒューズ
挿入層	透明なガラス	金属薄膜
動作	炭素被覆の過加熱がガラス層を破壊	誘起されたプラズマが界面を破壊
反応時間	> 100 msec	$\sim \mu\text{sec}$
プロセス	大気中で融着	真空成膜
挿入損失	< 1dB	< 1dB
切断閾値	> 5W	< 2W

Slide 3

製造方法 **掬い上げ調芯法**

- 純 TeO_2 融液
@小型ヒータ (6 \times 10mm)
- ファイバ対で微量採取 (数秒間)
- 損失を最小にする様に調芯

Slide 4

J. Ceram. Soc. Jpn, 110 (2002) 476