

ファイバフューズ点火現象の直接観察

(物材機構物質研) 轟 眞市、井上 悟

In situ observation of fiber fuse ignition / S. Todoroki and S. Inoue (National Institute for Materials Science) / Ultrahigh-speed video recording of fiber fuse ignition revealed a short fore-running phenomenon before an appearance of bright optical discharge. During the phenomenon, a darker radiant point moved slowly for about 0.6 ms without leaving any voids and then transformed into a running optical discharge. Thus, it is feasible to make a system which shuts down the light source in reaction to the emission from the radiant point, and prevents void formation in the circuit.

E-mail: TODOROKI.Shin-ichi at nims.go.jp

概要 シリカガラス製単一モード光ファイバにおけるファイバフューズ発生の瞬間の超高速写真撮影に成功した。安定な伝搬モードに移行する直前に、空孔生成を伴わない過渡的な伝搬モードが存在する。

緒言 ファイバフューズとは、80 年代後半に発見された光導波路に致命的な破壊を誘起する現象 [1] であるが、その空孔生成メカニズムが明らかになってきたのはつい最近のことである [2]。しかし事故防止の観点からは、発生メカニズムの理解が急務である。そこで本報告では、ファイバフューズ発生の瞬間を超高速写真撮影によって直接観察した結果を述べ、損傷の形状と伝搬現象との関係を議論する [3]。

実験 実験装置の配置を Fig. 1 に示す。シリカガラス製単一モード光ファイバ (SMF-28, Corning) の一端を、ラマンファイバレーザ (PYL-10-1480, IPG Laser, $1.48\ \mu\text{m}$) に接続した。もう一方の端は少量の酸化コバルト粉末と共にガラス製フェルールに挿入した (Fig. 1(b))。この配置で 9 W のレーザ光を導入すると、Fig. 2 の様にファイバフューズが発生する。この領域を、超高速 CCD カメラ (ultima APX-RS, Photron, 有感波長域: 380–790 nm) で撮影記録した。画像の解像度は 256×32 、 $1/64$ の ND フィルタ越しに、露出時間 $1\ \mu\text{s}$ 秒で $10\ \mu\text{s}$ 秒毎に測定した。また、損傷したファイバを光学顕微鏡写真で観察した。

結果 5 回撮影し、ほぼ同じ傾向の結果を得た。Fig. 3 に撮影した画像のスナップショットとファイバ軸方向にそった強度分布の時間変化を示す。 $t = 0\ \text{ms}$ より数秒前からレーザ光を注入しており、ファイバの先端はほぼ $x = 0$ の位置に有る。 $t = 0\ \text{ms}$ における発光は、主に加熱された酸化コバルト粉末からの放射である。 $t = 2.2\ \text{ms}$ において $x = 300\ \mu\text{m}$ 付近に強い発光体が出現し、約 $1.2\ \text{m/s}$ の速度で光源に向かって移動を始めた。Fig. 4 は、強い発光体が発生する以前の時間における強度分布の時間変化をより詳しく示したものである。 $t = 1.55\ \text{ms}$ において、 $x = 90\ \mu\text{m}$ 付近に独立した輝点が見れ、約 $0.37\ \text{m/s}$ の速度で移動し、 $t = 2.2\ \text{ms}$ 以降の安定したプラズマの伝搬につながっていくことが分かる。Fig. 5 に、この撮影に用いたファイバの損傷後の写真を示す。 $t = 1.55\text{--}2.2\ \text{ms}$ に現れた輝点の軌跡には、空孔が存在しないことが分かる。

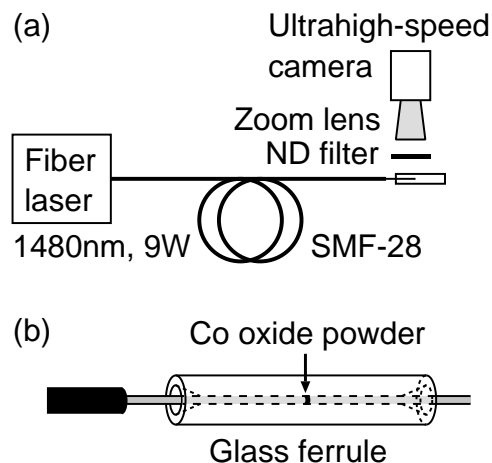


Fig. 1 (a) Experimental setup for observing fiber fuse ignition and (b) configuration for self-ignition by laser pumping.

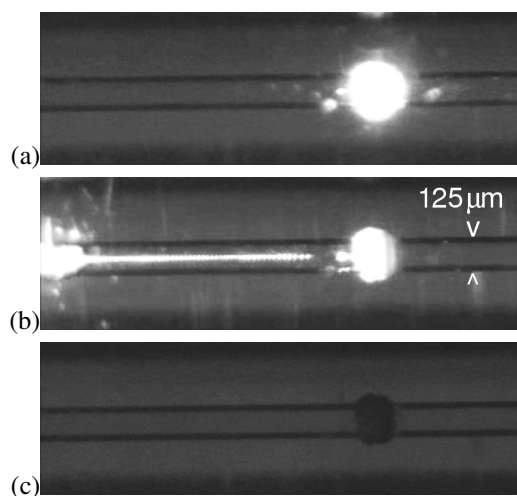


Fig. 2 Successive captured video images of fiber fuse ignition taken with an ordinary video recorder. The shooting speed is 30 frames per second.

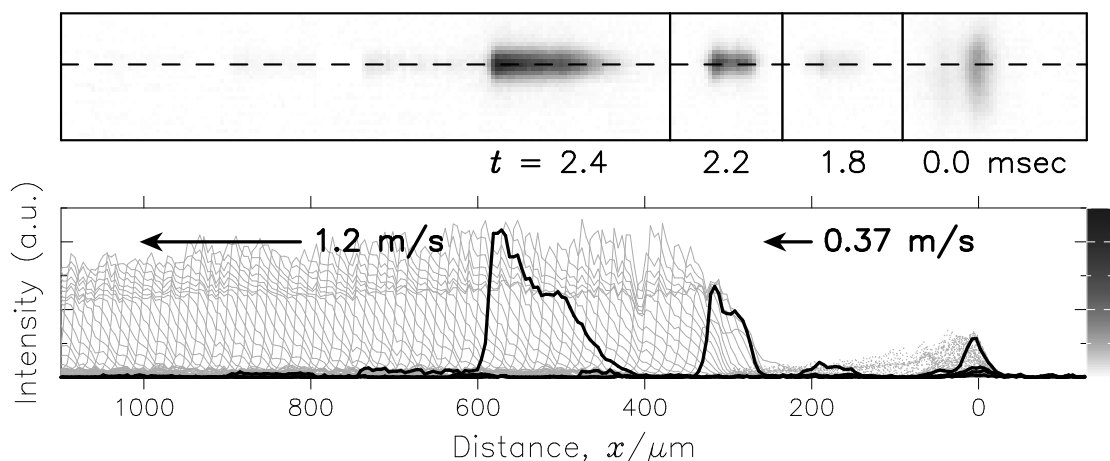


Fig. 3: Photographs of visible light emission around fiber fuse ignition (upper) and their intensity profiles along the dashed lines on the photographs taken every $10 \mu\text{sec}$ (lower). The fiber end is located near $x = 0$. The laser pumping started several seconds before $t = 0.0$ ms.

考察 周期的空孔が生成する原因は、プラズマと共に移動する空孔がコア領域に強く閉じ込められて細長い尾を引き、それが周期的に切り離されるためと理解されている [4]。切り離される原因は、空孔先端部の高温領域で新しい自由表面が生成されるのに対応して、空孔末尾の低温領域 (高粘度領域) で自由表面を消滅させなければならないことによる。ガラスの流動し易さを考えれば、末尾で連続的に表面を閉じるよりも、中間部から断続的に切り離す方が、必要とするエネルギーが少ないと説明できる。

強い発光体が発生する前の輝点の軌跡において周期的空孔が残らないのは、プラズマと共に移動する空孔周囲のガラスの温度がほぼ等しいためと推察できる。また、輝点発生から安定したファイバフューズへの転移までに約 0.6 m 秒経過している。よって、ファイバフューズ事故防止対策として、発生した輝点からの可視光発光を検知し、 0.1 m 秒程度の時間で光源を遮断するシステムを組めば、ファイバ内の空孔発生を未然に防ぐことができる。

謝辞 超高速撮影用機材を提供して下さった、株式会社フォトロンの花香和秀氏と坂巻顯氏に深い謝意を表する。

文献

- [1] R. Kashyap and K. J. Blow: "Observation of catastrophic self-propelled self-focusing in optical fibres", *Electron. Lett.*, **24**, pp. 47–9 (1988).
- [2] S. Todoroki: "Animation of fiber fuse damage, demonstrating periodic void formation", *Opt. Lett.*, **30**, 19, pp. 2551–2553 (2005).
- [3] S. Todoroki: "In-situ observation of fiber-fuse ignition", *ICONO/LAT 2005 Technical Digest on CD-ROM*, St. Petersburg, Russia (2005). (LSK3).
- [4] S. Todoroki: "Origin of periodic void formation during fiber fuse", *Optics Express*, **13**, 17, pp. 6381–6389 (2005).

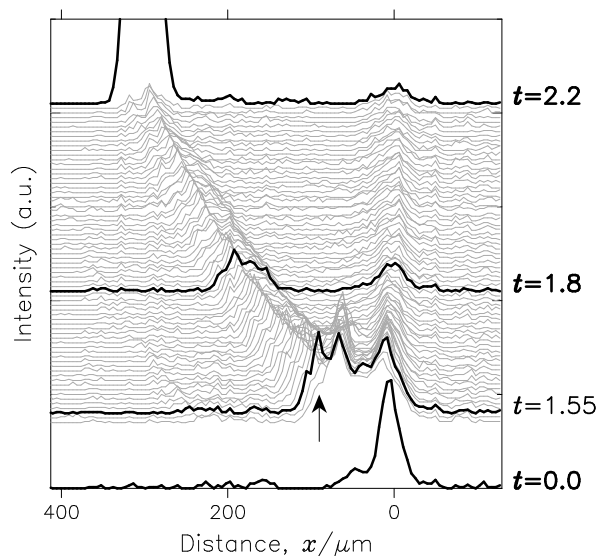


Fig. 4 Time-varying intensity profile of visible light emission before fiber-fuse ignition ($t = 2.2$ ms) along the dashed lines on the photographs shown in Fig. 3.



Fig. 5 Optical micrograph of a damaged fiber, whose diameter is $125 \mu\text{m}$. The magnification factor is the same as that for Fig. 4.