# プラスチック光ファイバヒューズ現象の観測と特性評価 Observation and characterization of plastic optical fiber fuse phenomenon 東京工業大学 精密工学研究所 ○水野 洋輔 林寧生 田中宏樹 中村健太郎

P. & I. Lab., Tokyo Tech OYosuke Mizuno, Neisei Hayashi, Hiroki Tanaka, and Kentaro Nakamura

E-mail: ymizuno@sonic.pi.titech.ac.jp

### 1. はじめに

**光ファイバヒューズ**とは、高パワー光の入射により光ファイバ が局所的に加熱され発生した輝点(閃光)が、光ファイバを破壊 しながら光源に向かって伝搬する現象である[1-3]。輝点が伝搬し た後の光ファイバはコアが損傷し光通信には使用できないため、 ヒューズ現象は光ファイバ通信の容量限界を決定する要因の一つ とされている。これまでに、シリカガラス光ファイバにおけるヒ ューズ現象については多くの報告がなされているが[1-3]、近年通 信や計測分野で注目を集めているプラスチック光ファイバ(POF) [4-6]におけるヒューズ現象は報告されていなかった。

本研究では、POF 中の光ファイバヒューズを初めて観測し、ガ ラス光ファイバよりも 1~2 桁遅い伝搬速度や 180 倍低い閾値パワ 一密度など、多くの特異な性質を明らかにした。また、発生・伝 搬機構を解明するとともに、工学応用の可能性を示した。

# 2. ガラス光ファイバヒューズの性質[2]

シリカを中心とするガラス光ファイバにおけるヒューズ現象の 主な性質としては、(1)ヒューズ伝搬速度は ms オーダ、(2) 閾値パ ワー密度は 12 MW/cm<sup>2</sup>、(3) 伝搬速度の入射光パワー密度への依存 係数は 941 mm·s<sup>1</sup>·MW<sup>1</sup>·cm<sup>2</sup>、(4) 伝搬後には弾丸状の周期的な空乏 が形成される、(5) 伝搬後は光を通さない、(6) 輝点は「プラズマ」 であるとされている、などが知られている。

### 3. POF ヒューズの発生・伝搬

実験系を図 1(a)に示す。1550 nm 帯の光を増幅し、突合せ接合[5] を介してコア径 50 µm の POF (通信波長帯で 250 dBkm という比較 的低い光損失を有する全フッ素化屈折率傾斜型 POF [4]) に入射し た。POF の開放端を金属粉に接触させてヒューズを発生させた。

発生したヒューズが POF に沿って光源に向かって伝搬する様子 を1秒おきに撮影し、重ねて表示したのが図 1(b)である。また、ヒ ューズ伝搬の様子の拡大図が図 1(c)である。ガラス光ファイバ中の ヒューズに比べ、極めて遅い速度でヒューズが伝搬した。POF ヒ ューズの伝搬速度の入射パワー依存性を測定したところ、(1) ヒュ ーズ伝搬速度は最も遅いときに 21.9 mm/s であり、ガラス光ファ イバ中の速度よりも 1~2 桁遅い、(2) 閾値パワー密度は 6.6 kW/cm<sup>2</sup> であり、ガラス光ファイバ中の値よりも 180 倍小さい、(3) 伝搬速 度の入射光パワー密度への依存係数は 1590 mm·s<sup>1</sup>·MW<sup>1</sup>·cm<sup>2</sup>であり、 ガラス光ファイバ中の値よりも 170倍大きい、という性質が明らか になった。詳細な理論解析によると、遅い伝搬速度はポリマーの 低い熱伝導率に起因すると推察された。

## 4. 顕微鏡観察・スペクトル解析

ヒュース通過後のPOFの顕微鏡写真の1例を図2(a)に示す。弾丸 状の周期的な空乏は観測されず、ポリマーは黒く炭化し、その軌 跡は螺旋状に振動していた。その振動の周期は1400µmであり、屈 折率傾斜構造から算出される光線の周期1204µmと近い値であった。 これは、最大のエネルギーを与える特定の光伝搬モードに沿って 輝点が伝搬することを示唆する。また、発生した気体が周期的に 配列する場合があることや、サブワットレベルの高パワー光入射 により発生した多量の気体が爆発を誘引し、ヒューズ伝搬が自発 的に停止する場合があること(図2(b)(c))も明らかになった。

更に、伝搬している POF ヒューズの放射スペクトルを測定した のが図2(d)である。比較のため、太陽光と電球の放射スペクトルも 含めた。POF ヒューズの放射スペクトルに物理的意味を持つ線ス ペクトルは現れなかったため、少なくとも POF ヒューズは従来言 われてきたような「プラズマ」ではなく熱輻射であることが明ら かになった。なお、プランクの法則およびウィーンの変位則より、 輝点の温度は約3600 K と見積もられた。

#### 5. そのほかの特筆すべき性質

ヒューズ通過後のPOFは約1dB/cmという高い損失ながら多少の 光を通す一方、炭化した軌跡は導電性を有する。この光と電気の 両方を通す性質により長い電気光学相互作用長が実現され、各種 デバイス応用が期待される。また、伝搬する POF ヒューズの位置





☑ 1. (a) Schematic of the experimental setup. The silica SMFs are indicated by blue lines. (b) Composite photograph of the fiber fuse propagating along the POF; photographs were taken at 1-second intervals. The fiber arrangement was that of Todoroki [3] to allow a direct comparison between the POF and silica SMF. (c) Magnified view of the propagating fuse.



 $\boxtimes$  2. (a) Spirally oscillatory carbonized curve after the POF fuse passage. (b) Spontaneous burst observed at 67 kW/cm<sup>2</sup> and (c) its magnified view. (d) Emission spectra of the bright spot of the POF fuse, an incandescent light bulb, and background (i.e., sunlight).

をリアルタイムで遠隔検出する手法やポリマーの柔軟性を用いた 容易なヒューズ停止法、ヒューズ後のPOFの再生法も開発した。

以上のように、POF ヒューズの観測は、従来の光ファイバヒュ ーズの常識を根底から覆す重要な発見であるといえる。本研究を 進めるに当たり、POF ヒューズの伝搬機構の解明において多大な 協力を頂いた物質・材料研究機構の轟眞市博士に感謝申し上げる。

#### 参考文献

- [1] R. Kashyap and K. J. Blow, *Electron. Lett.* 24, 47 (1988).
- [2] R. Kashyap, Opt. Express 21, 6422 (2013).
- [3] S. Todoroki, Opt. Express 13, 6381 (2005).
- [4] Y. Koike and M. Asai, NPG Asia Mater. 1, 22 (2009).
- [5] Y. Mizuno and K. Nakamura., Appl. Phys. Lett. 97, 021103 (2010).
- [6] Y. Mizuno et al, Opt. Lett. 38, 1467 (2013).