

希土類元素ドープファイバとその応用

三菱電線工業株式会社電子通信研究部 御前 俊和

Characteristics and application of rare-earth-doped optical fibers

Toshikazu Gozen
MTSUBISHI CABLE INDUSTRIES, LTD.

1. はじめに

希土類元素ドープファイバは石英系ファイバが持つ本来の特性—低損失性、広帯域性、細径、無誘導性を保持したまま希土類元素の効果を加したファイバであり、ファイバレーザ¹⁾、広帯域増幅素子²⁾等の能動素子、センサ³⁾、フィルタ、波長変換素子等の新しいデバイスとして期待されている。ここではNd, Erを中心に希土類元素ドープファイバの製法、光伝送特性、センサ応用について報告する。

2. 希土類元素ドープファイバの製法

Fig. 1にMCVD法による希土類元素ドープ方法を示す。⁴⁾反応管の原料ガス供給側の小チェンバに希土類塩化物を準備し、コア層の堆積時に加熱気化させ希土類元素をドープしたコア層を生成する。コア層生成時には比屈折率差を高めるためにGeを、また希土類元素イオンのドープ効果を高めるためにP, Al, Yb等のドーパントを共ドープしている。また、VADスート希土類元素溶液に浸漬する—分子スタッフィング法によっても同様に各種元素をドープすることが可能である。Fig. 2にVAD—分子スタッフィング法の手順を示す。⁵⁾

3. ファイバ光特性

Fig. 3にNd, Erドープファイバの分光損失特性を示す。各希土類元素を特徴づける吸収がNdドープファイバでは0.52, 0.58, 0.80 μm に、Erドープファイバでは0.52, 0.64, 0.98 μm に存在する。⁶⁾それぞれ、1.1 μm 付近に低損失の窓が存在し、損失値は10dB/km以下となっている。希土類元素ドープ量が増してもこの特徴は大きく変わらない。

希土類元素ドープファイバの蛍光特性を測定した。⁷⁾励起光源として波長0.83 μm のLDを用い、測定条長は3mである。光スペクトラムアナライザにて測定した出射光強度をFig. 4に示す。Ndの蛍光波長は低損失域と一致しているがErは高損失部と重なっている。

VAD法によりNdとYbあるいはAlを共ドープしたファイバの分光損失特性をFig. 5に示す。Yb, Alをドープしても1.1 μm 付近では低損失であるが、波長1 μm 付近の損失の立ち上がり長波長側にシフトするなど共ドープの影響が見られる。

4. 分布型放射線センサ

4.1 γ 線照射特性

γ 線源として⁶⁰Coを用い、Ndドープファイバの

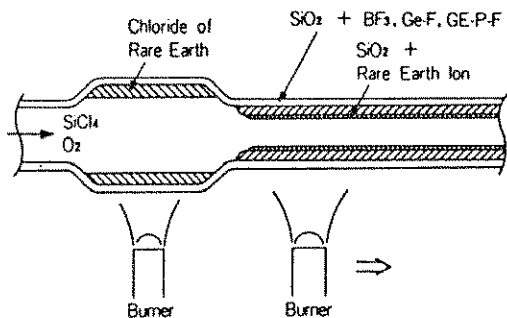


Fig. 1. MCVD process for rare-earth doping
MCVD法による希土類元素ドーピング方法

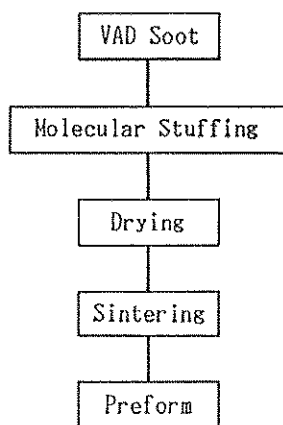


Fig. 2. Outline of rare-earth doping
by VAD-Molecular stuffing method
VAD-分子スタッフィング法による希土類元素ドーピング

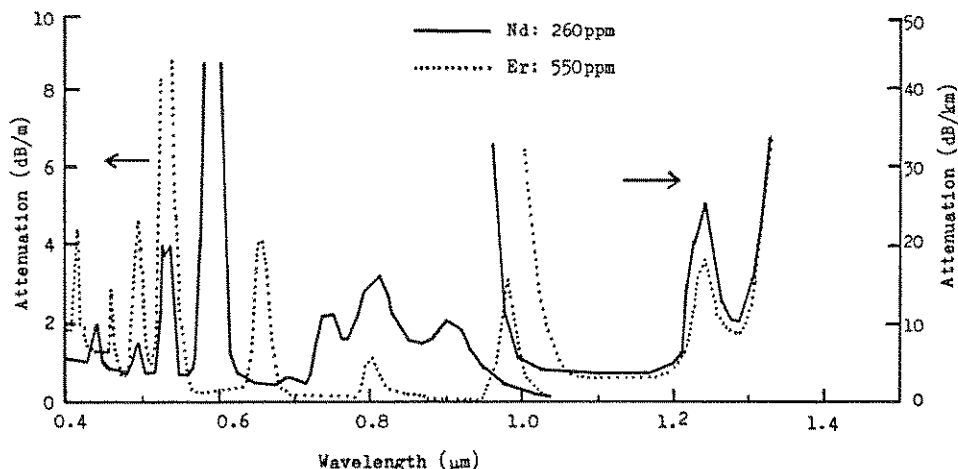


Fig.3. Spectral loss of Nd,Er doped fibers.
Nd,Erドーピングファイバ分光損失特性

損失増加特性を測定した⁸⁾ Fig. 6 に測定結果を示す。照射条件は、室温、線量率 $1 \times 10^4 \text{ R/H}$ 、測定波長 $1.3 \mu\text{m}$ 、光パワー 20 dBm 、照射時間 60 分 である。損失増加量は線量にはほぼ比例しており、照射停止後の損失回復がほとんど認められない、純粋石英コアファイバの損失増加量は 10^4 rad 照射時に数 dB/km 程度⁹⁾ であるのと比較すると Nd ドープファイバは γ 線に対して非常に高い感度を有している。現在さらに高濃度の希土類元素ドーピングファイバが得られており、高感度のセンシングが可能

と考えられる。

Ge を共ドーピングしたファイバの損失増加量は 1000 ppm の Nd を含むにもかかわらず、Nd のみを 260 ppm 含むファイバよりも少なく Ge の共ドーピングは Nd ドープファイバの放射線感度を押さえる働きがあると思われる。

一般に石英系ファイバの放射線による損失増加特性は線量率、雰囲気温度、入射光強度等に大きく依存する⁹⁾ が放射線センサへの応用のためには放射線量以外の条件に不感であることが望まれる。

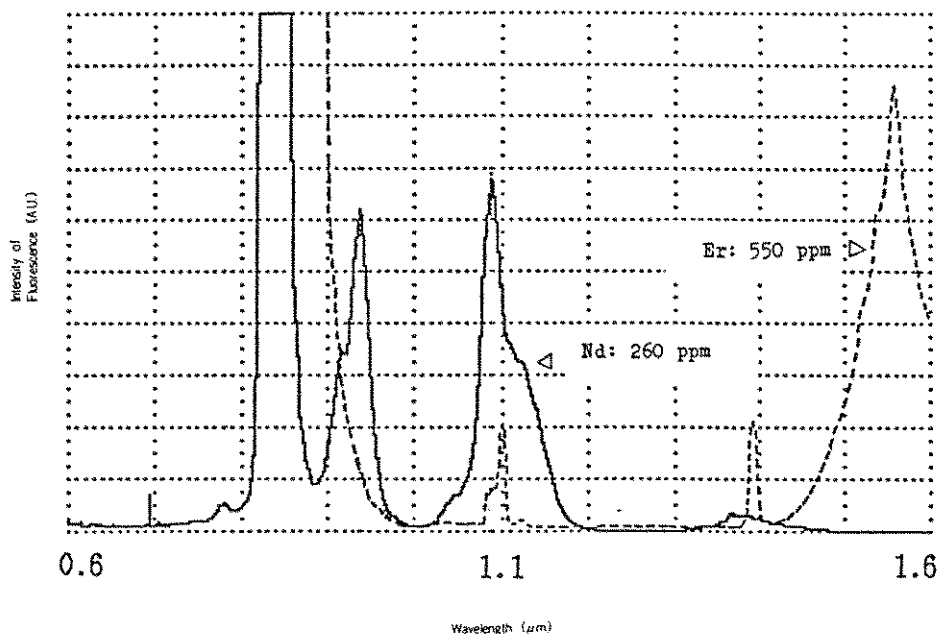


Fig. 4. Fluorescence of Nd,Er doped fibers.
Nd,Er ドープファイバ分光蛍光特性

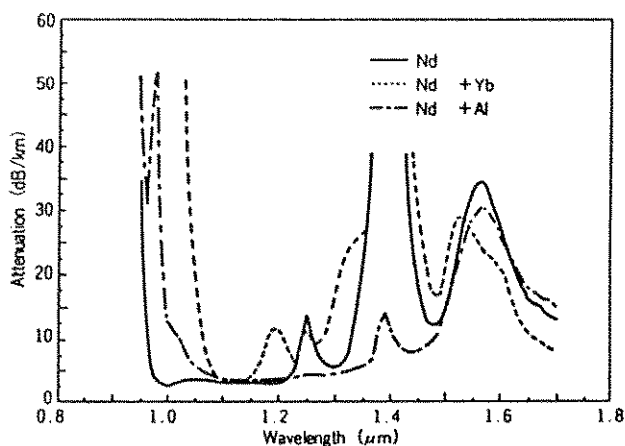


Fig. 5. Spectral loss of Yb-Nd and Al-Nd co-doped fibers.
Yb Al 共ドープNd ドープファイバ分光損失特性

Fig. 7 に照射線量率を 6.4×10^2 , 3.5×10^3 , 1×10^4 R/H と変化した場合の損失増加量を示す。損失増加量は線量率によらず照射線量のみに依存していることが判る。

入射光強度の変化による損失増加量の変化、すなわちフォトブリーチ効果および雰囲気温度依存性を測定した。フォトブリーチ効果の評価は、光

パワーを -20 dBm, -30 dBm とし、また温度依存性の評価は雰囲気温度を室温、 -55°C として照射を行い比較した。結果を Fig. 8 に示す。γ線照射による損失増加特性は 3 条件ともほぼ等しく、フォトブリーチ効果、温度依存性がほとんど無いことが判る。

以上の結果より Nd ドープファイバは γ 線に極め

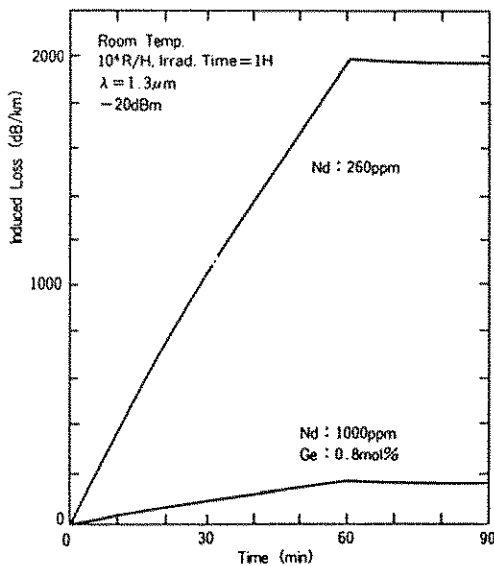


Fig. 6. Radiation response of Nd doped fiber exposed to γ -ray.
Nd ドープファイバ γ 線照射特性

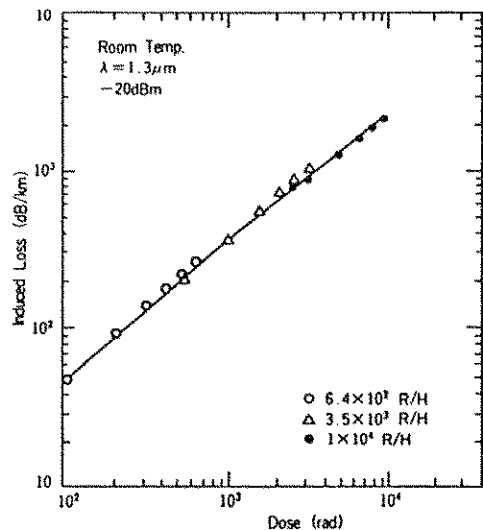


Fig. 7. Dose rate dependence of Nd doped fiber.
Nd ドープファイバ損失増加の線量率依存性

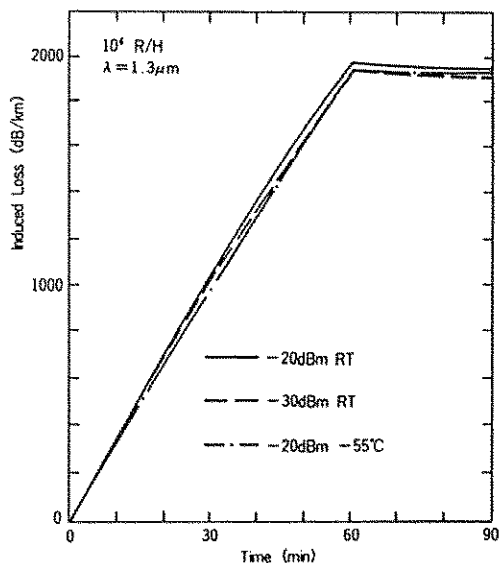


Fig. 8. Photobleaching effect and temperature dependence of Nd doped fiber.
Ndドープファイバのフォトブリーチング効果及び温度効果

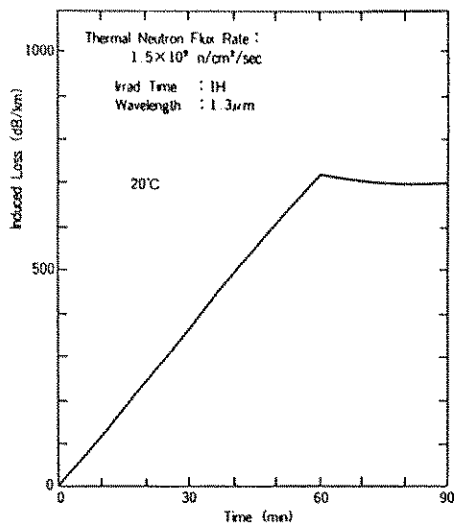


Fig. 9. Radiation response of Nd doped fiber exposed to thermal neutron flux.
Nd ドープファイバの熱中性子線照射特性

て高感度であり、照射線量に対しても良好な線形性を有しており、照射条件による影響もほとんど無く、光ファイバ線量計として十分応用可能である。

4.2 熱中性子照射特性

Ndドープファイバの熱中性子に対する感度を検討した¹⁰⁾ Fig. 9 に $1.5 \times 10^9 \text{ n/cm}^2/\text{s}$ の線束を持つ熱中性子を60分間照射した結果を示す。 γ 線照射時と同様に損失増加量は熱中性子線量にほぼ比例し、照射停止後の回復もほとんど見られない。

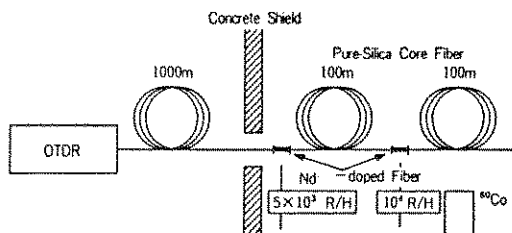


Fig. 10. Experimental set-up of a distributed sensing system.
Nd ドープファイバを用いた分布型放射線センサ

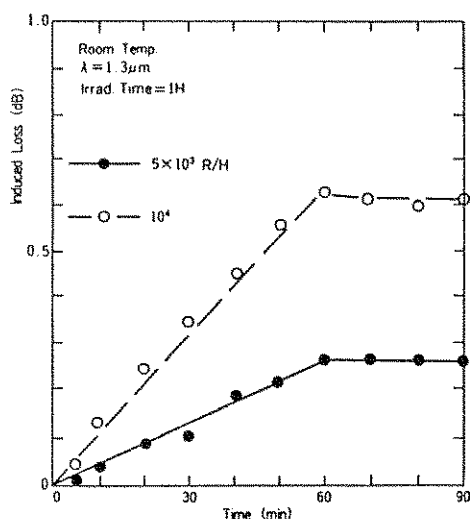


Fig. 12. Radiation responses of Nd doped fibers in the distributed sensing system.
分布型放射線センサの損失増加特性

4.3 分布型放射線センサ

分布型放射線センサの構成¹¹⁾をFig.10に示す。光伝送路として耐放射線性の優れた純粋石英コアファイバを用い、全長1200mのうち観測点から1000m、1100mの位置に条長40cmのNdドープファイバを接続した。損失変化の測定には1.3 μ m帯光パルス試験器 (OTDR) を用い連続測定を行った。 γ 線照射線量率をそれぞれのNdドープファイバに対して 5×10^3 R/H (1000m), 1×10^4 R/H (1100m) とし60分照射中の損失増加量および回復特性を測定した。OTDR観測結果をFig.11に示す。 γ 線照射によりNdドープファイバの損失増加が大きいため1000mと1100mの位置で後方散乱光強度の変化が観

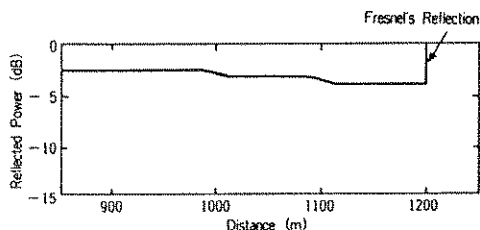


Fig. 11. Reflected power observed by OTDR.
分布型放射線センサOTDR結果

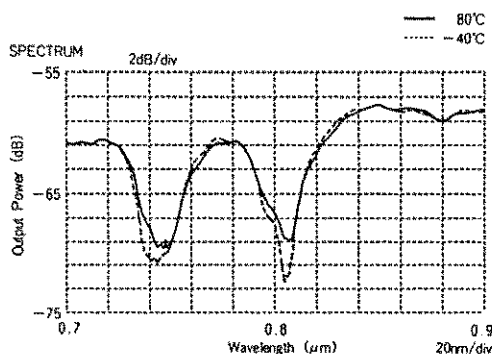


Fig. 13. Temperature dependence of spectral loss of Nd doped fiber.
Nd ドープファイバの吸収スペクトルの温度依存性

測されている。

OTDRによって測定したNdドープファイバの照射時間に対する損失増加特性をFig.12に示す。損失は時間すなわち照射線量に対してほぼ直線的に増加しており、その勾配は線量率に比例している。

以上結果より、純粋石英コアファイバとNdドープファイバおよびOTDRを組み合わせることにより、多点同時測定が可能な分布型放射線センサシステムを構成することが可能であると言える。

5. 温度センサ

希土類元素をドープしたガラスの吸収スペクトルの温度変化を利用して温度センサ³⁾としての応用

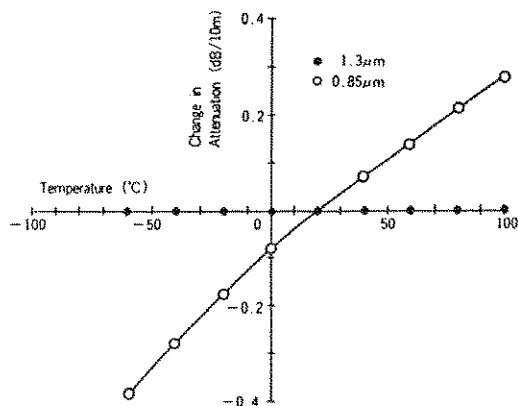


Fig. 14. Temperature response of Nd doped fiber loss at 0.85 μm and 1.3 μm .
Nd ドープファイバの損失温度特性

を検討した。Fig. 13にNdドープファイバに白色光を入射した時の出射スペクトルの変化を示す。0.74, 0.84, 0.88 μm にNdの吸収ピークが見られる。温度が高くなると、吸収ピーク値が減少するとともに吸収波長が長波長側にシフトしている。20°Cを基準にしたNdドープファイバの波長0.85 μm および1.3 μm における-60°C ~ +100°C範囲の温度による損失変化をFig. 14に示す。1.3 μm では全く変化が見られないのに対し、0.85 μm ではNdの吸収域に近いので大きく変化し、この変化量は温度に対してほぼ比例しており広範囲の温度測定が可能と思われる。

6. まとめ

希土類元素としてNd, Erをドープしたファイバを試作し、その基本特性を測定した。また、センサ応用として放射線特性、温度特性について検討を行った。

MCVD, VAD法により希土類元素を約1000ppm以上ドープすることが可能であり、希土類元素による吸収がない波長1.1 μm 付近での損失が10dB/km以下である優れた損失特性を持つNd, Erドープファイバを作製した。

Ndドープファイバが γ 線および熱中性子線に対して極めて高い放射線感度を有している事を示し、OTDRと組み合わせた光ファイバ分布型放射線センサに应用できることを明らかにした。

Ndドープファイバの吸収スペクトルの温度変化を利用し温度センサとしての適用が可能であることを示した。

参考文献

- 1) Mears, R. J., et al., Electron. Lett. **21** (27), p. 738 (1985)
- 2) 木村他, 昭63信学春季全大, C-553, (1988)
- 3) Farries, M. C., et al., Electron. Lett. **22** (8), p. 418 (1986)
- 4) Poole, S. B., et al., Electron. Lett. **21** (17), p. 737 (1985)
- 5) Gozen, T., et al., in Technical Digest, Conference on OFC '88, WQ1, (1988)
- 6) 吉田他, 昭62信学半導体材料全大, 442 (1987)
- 7) 吉田他, 昭61信学光電波全大, 327 (1986)
- 8) 鈴木他, 昭61信学光電波全大, 334 (1986)
- 9) Suzuki, T., et al., Proceedings of SPIE, **721**, p. 44 (1986)
- 10) 家他, “ほう素を含む光ファイバの γ 線照射効果”, 昭61原子力学会 (1986)
- 11) Imamura, K., et al., Proceedings of SPIE, **787**, p. 62 (1987)

【筆者紹介】



御前 俊和 (ごぜん としかず)
1971年京都大学工学部工業化学科卒業、
同年大日本電線(株)(現・三菱電線工業(株))入社
現在、情報通信事業部電子通信研究部主任研究員、光ファイバの研究開発に従事。

Abstract

Rare-earth ion doped optical fibers are attracting wide attention for the use as fiber lasers, in-line amplifiers, fiber sensors, fiber filters, and so on. Nd-doped fibers, Er-doped fibers, and Nd/Er co-doped fibers were prepared by MCVD and VAD methods, and evaluated for absorption, fluorescence and temperature characteristics, and radiation sensitivity. These rare-earth ion doped optical fibers are highly sensitive to gamma rays and thermal neutron flux, while the sensitivity is not dependent on dose rate, temperature, and incident light power. They are accordingly applicable to a dosimeter and also a distributed radiation sensor by combination with OTDR. Further, the temperature dependence of the loss spectrum of these fibers indicated the applicability to a temperature sensor as well.