

増幅用光ファイバ中の添加元素の状態分析 Chemical state analysis of doped elements in Er-doped optical fiber

飯原 順次, 斎藤 吉広
Junji Iihara, Yoshihiro Saito

住友電気工業(株)
Sumitomo Electric Industries, Ltd.

我々は、光増幅用のエルビウム添加ファイバ(Erbium Doped optical Fiber, 以下 EDF と略) に関し、増幅帯域の拡大を目指し、各種添加元素の果たす機能の解明に取り組んでいる。今回、エルビウム(Er)のバンド構造、及び、共添加元素であるアルミニウム(Al)の化学状態を XAFS 法で分析した結果、添加量に応じて Er だけでなく Al も状態が変化していることが明らかとなった。

キーワード： EDF、光通信、XAFS、SDD、軟 X 線

背景と研究目的：

波長多重方式(Wavelength Division Multiplex, WDM)の光通信では、通信容量の増大に対応するため、光増幅器の帯域拡大が大きな課題となっている。波長 1.55 μm 帯の光増幅用として実用化されている EDF では、Er に加えて Al を共添加することで、利得平坦性の改善と増幅帯域の拡大が実現できることが知られている。

これまで我々は、Er L_3 -XAFS 測定より、Al 濃度増加に伴う Er-O 配位数の増加現象を確認している[1]。本課題では、軟 X 線領域での XAFS 分析により、Er のバンド構造変化、及び、共添加する Al の状態変化の評価を行った。

実験：

XAFS 測定は、BL27SU にて実施した。表 1 に、EDF 試料の組成を示す。EDF の主成分は絶縁体の SiO_2 ガラスであるため、軟 X 線 XAFS で広く用いられている試料電流法を適用することが出来ない。更に、Er 濃度は約 1000 ppm と、非常に低い値となっている。以上より、今回は蛍光法を適用し、かつ、高感度の SDD 検出器を用いて測定した。

なお、EDF などの光ファイバでは、通常は中心部に高屈折率部(=コア)、その外側に低屈折率部(=クラッド)という二重構造をとっている。Er および Al は、コア部に添加されているため、EDF をそのまま測定しても、クラッド部の情報しか得ることが出来ない。更に、Er に関しては、上述のように濃度が非常に低いという難点がある。そこで、長さ 100 m 程度の EDF に対して、クラッド部をエッチングで除去し、コア部のみを抽出し、粉碎して測定用試料とした。

表 1. EDF 試料(コア部)の組成

試料	濃度		
	Er (ppm)	Al (wt.%)	Ge (wt.%)
A	958	6.5	4.1
B	1357	1.4	3.4
C	840	0.4	4.5

結果および考察：

図 1 に、標準試料である Er_2O_3 結晶、及び、EDF 試料の Er M_5 -XAFS スペクトルを示す。いずれの試料も、①1401eV ②1403eV ③1405eV 付近に 3 つのピークが見られる。大まかには、3 種の EDF 試料のスペクトル形状は Er_2O_3 結晶と類似しており、Er と酸素が結合していることを反映していると考えられる。

詳細に見ると、まず EDF(C)のスペクトルは、他の EDF 及び Er_2O_3 結晶に比べて、高エネルギー側にシフトしていることが分かる。また、ピーク②を基準としてピーク①の相対強度を比較すると、 Er_2O_3 結晶 > EDF(A) > EDF(C) > EDF(B) の順に弱くなっている。ピーク①は、Er4f

軌道の情報を反映しており、同軌道間の遷移を利用している光増幅の特性に密接に関与していると考えられる。今後、この情報と増幅特性の詳細比較を進めていく。

図2に、Al K-XAFS のスペクトルを示す。比較のため、 α - Al_2O_3 及び γ - Al_2O_3 の2種類の結晶試料も測定している。なお今回、試料電流法での測定も試行してみたが、チャージアップの影響で良好なスペクトルは得られず、蛍光法での測定が有効であることを確認することが出来た。

図2から、EDF(A)、(B)、(C)のスペクトル形状とエネルギー吸収端が大きく異なることが分かる。例えば、プリエッジ部(ピーク④)の強度に着目すると、(A) > (B) > (C) の順に小さくなっている。一方、エネルギー吸収端に関しては、(A)が最も低く、(B)と(C)は互いに近いものの、(C)の方が若干低いことが分かる。また、EDF(B)と(C)では、④ 1560.5 eV、⑤ 1562 eV、⑥ 1563.5 eV の3ピークから形成されている。ピーク④の強度に関しては、上述のとおりである。ピーク⑤とピーク⑥の強度比が(B)と(C)では変化しており、状態が異なっていることを示している。

これらのスペクトルで示される Al の状態変化が、Er 状態変化を引き起こし、最終的には増幅特性として現れていると考えられる。今後、XANES シミュレーションを実施して、Al の状態を把握し、EDF 増幅帯域の拡大に反映させていく。

参考文献：

[1] T.Haruna, et al., 2006 / Vol. 14, No. 23 / OPTICS EXPRESS, 14(23), 11036 (2006).

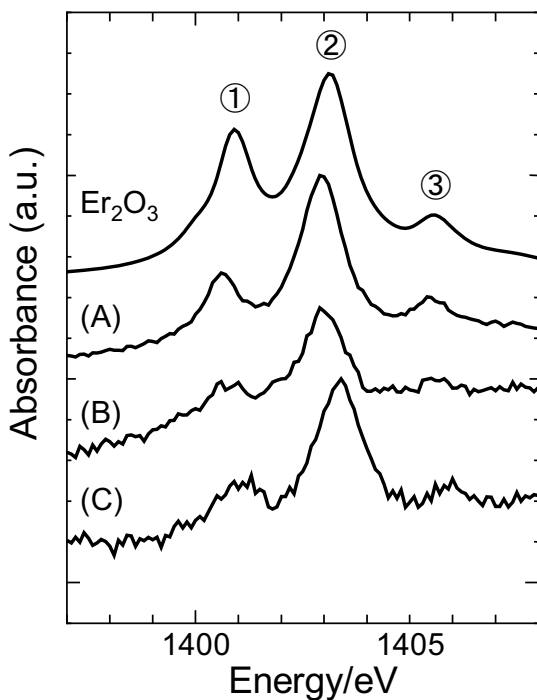


図1. Er M_5 -XAFS スペクトル (A) Al 6.5%、(B) Al 1.4%、(C) Al 0.4%

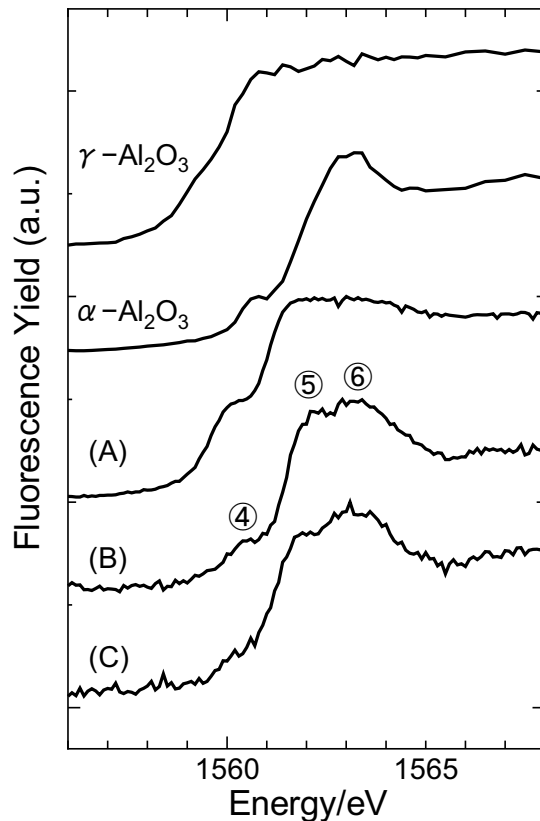


図2. Al の K-XAFS スペクトル (A) Al 6.5%、(B) Al 1.4%、(C) Al 0.4%