

X線散乱、XAFS、MDシミュレーションを用いた 増幅用ファイバの構造解析

住友電気工業(株) 斎藤吉広

ysaito@sei.co.jp

波長多重方式(WDM)の大容量光通信システムにおいて、複数の光信号を電気信号に変換することなく増幅できる光増幅器は不可欠の能動光部品となっている。特に、エルビウム(Er)を添加したSiO₂ファイバ(EDF)は、波長1.55μm帯の光増幅器に広く用いられている。EDFでは、Al共添加により増幅利得の平坦化と帯域拡大を実現可能であるが、その詳細な機構は解明されていない。本研究では、EDFの更なる高性能化を目指し、Al添加による構造と発光特性の変化について解析した。

Al添加量0~6.5wt%のEDFに関し、X線散乱とXAFSの測定を行った。試料には、Erが添加されている15μm径のコア部のみを精密エッチングで抽出したものをを用いた。結果として、X線散乱による動径分布関数(RDF)からは、Al添加してもSiO₂ガラスの骨格構造はほとんど変化していないことが推定された。一方、Er吸収端近傍でのXAFS分析から、Al添加によりEr-Oの配位数増加と距離拡大が生じていることが確認された。更に最適化した原子間ポテンシャルを用いた分子動力学シミュレーションにより、上記の実験結果を定性的に再現できるモデルの構築に成功した。Er周囲の局所構造の変化には、Erに対する第二近接原子が重要な役割を果たしていると考えられる。

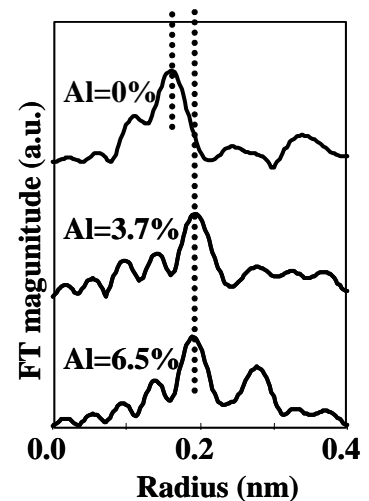


図 XAFSによる動径分布関数
(Al添加によるEr-O距離の拡大)

第5回 SPring-8 産業利用報告会

X線散乱、XAFS、MDシミュレーションを用いた 光増幅用ファイバの構造解析

2008/09/18

住友電気工業(株)

斎藤 吉広, 飯原 順次, 春名 徹也, 山口 浩司

東京大学 生産技術研究所

井上 博之

概要

1. 序論 - 研究の背景と目的

- 光通信、高速大容量化のトレンド、波長多重伝送
- 光増幅器とEr添加ファイバ(EDF)

2. 実験 - 放射光分析による構造解析

- X線散乱, XAFS

3. 分子動力学 (MD) シミュレーション

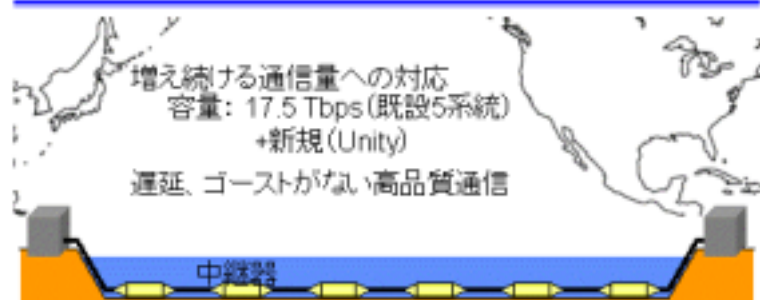
- 実験結果との比較
- EDF構造変化のメカニズム

4. まとめ

情報通信: 銅/電気からガラス/光へ...



高速大容量化のトレンド: 太平洋横断海底ケーブル



伝送路	多重化方式	容量	中継器
同軸ケーブル TCP-1(1964)	周波数分割	120回線相当	~1000個
光ファイバ TCP-3(1989)	時分割	560 Mbps	~250個
光ファイバ Unity(工事中)	時分割+波長多重	Max 7.68 Tbps 1.2回線相当	~100個
衛星通信	周波数分割	~1 Gbps	-

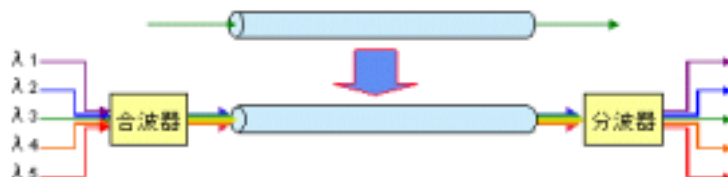
光ファイバと波長多重伝送 (WDM)

光ファイバ: 高純度SiO₂ + 添加元素
⇒ 機能発現・制御

低ロス(100kmで1/40)⇒長距離伝送が可能



波長多重伝送(WDM): 1本のファイバに異なる波長の複数の光
⇒ 大容量化

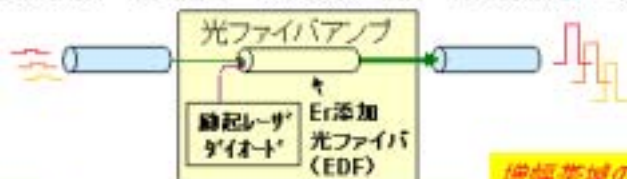


◆ SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD

Ingenious Dynamics

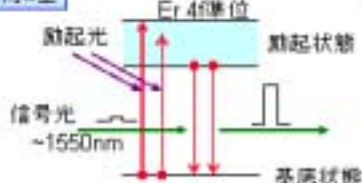
光増幅器とEr添加ファイバ (EDF)

光信号増幅: 電気信号への変換が不要 ⇒ 高速伝送が可能

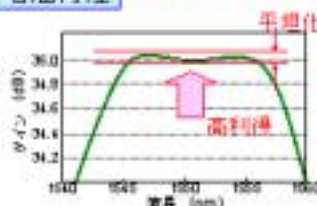


増幅帯域の拡大
⇒ 更なる大容量化

原理



増幅特性

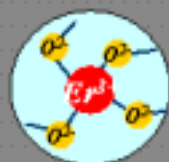


◆ SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD

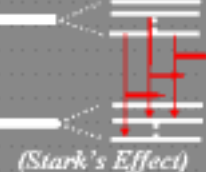
Ingenious Dynamics

Al共添加⇒EDF帯域拡大に一定の効果

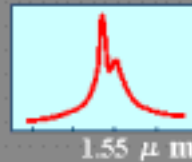
基本的なスキーム



[Er4f Levels]



[蛍光スペクトル]

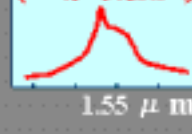


Al共添加

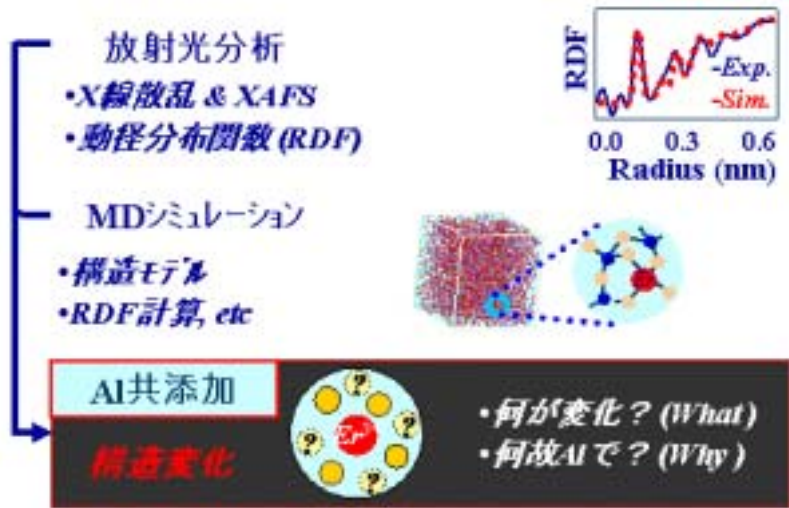
・機構は未解明



ブロード化
(⇒帯域拡大)



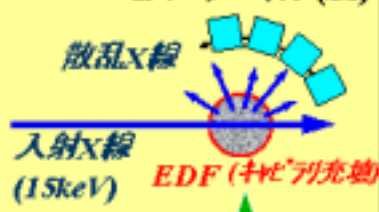
本研究の目的: EDF構造解析⇒機構解明



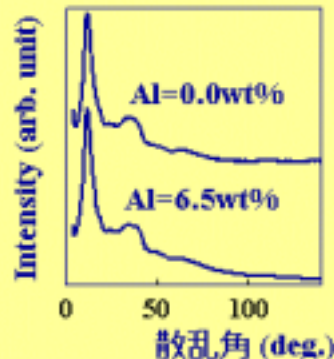
X線散乱測定

[測定スキーム]

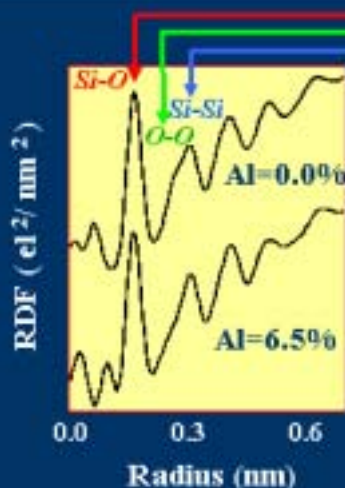
シンレーションカウンタ (SC)
& ソーレスリット (SS)



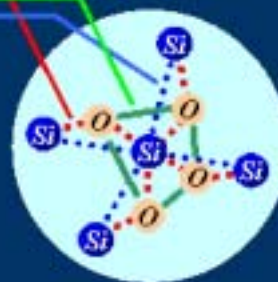
[散乱スペクトル]



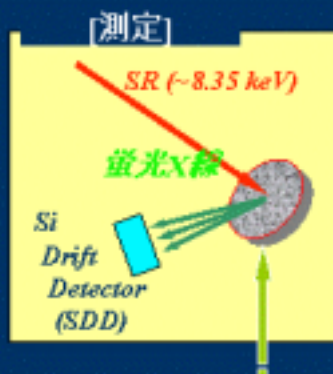
動径分布関数(RDF) by X線散乱測定



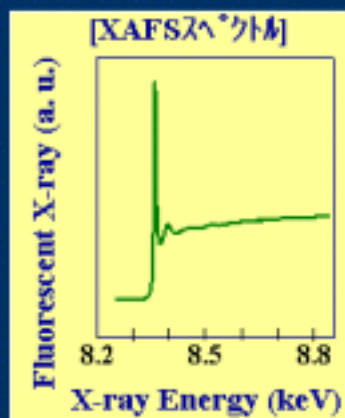
AI共添加による差は
ほとんどみえない



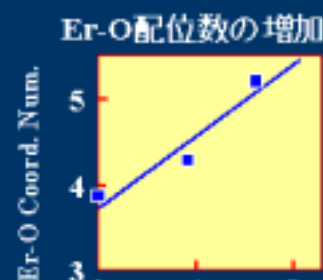
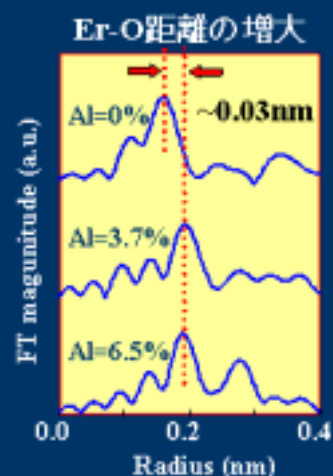
XAFS測定 (Er L_{III} 吸収端)



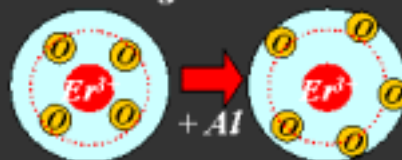
EDFコア(ガラス)粉末を
プレート表面に分散



Results of XAFS: Er Local Structure

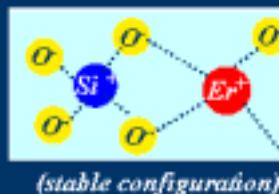
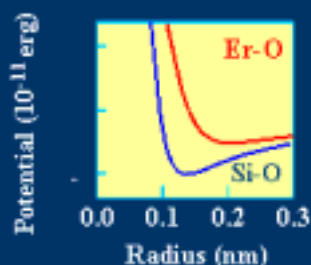


•What Changed?

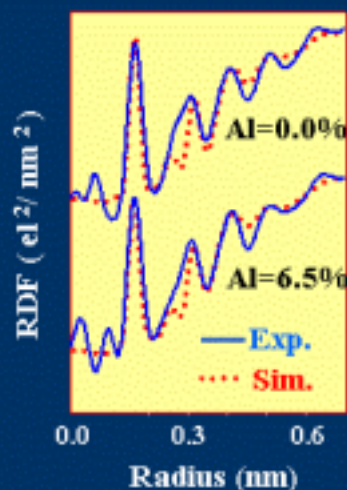


MDシミュレーションのフロー

- 2体ポテンシャル作成
(*) 類似組成の結晶に適用したときの安定性などを確認
(ex. Al_2SiO_5 , etc)
- EDF構造モデル作成
 - ・規模-3000原子
 - ・20000 ステップ@4000 K
(10^{-15} sec/step)
- RDF、配位数等の計算



シミュレーション結果 (1) RDF(X線散乱との比較)

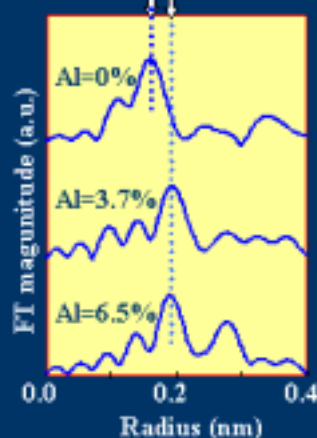


シミュレーションによる
構造モデルの例

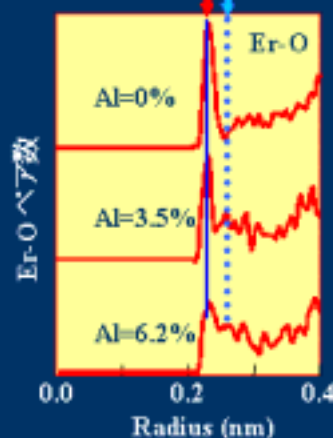


シミュレーション結果(2) Er-O距離(XAFSとの比較)

XAFS 測定によるRDF

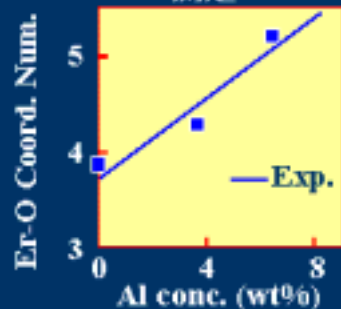


MD シミュレーション

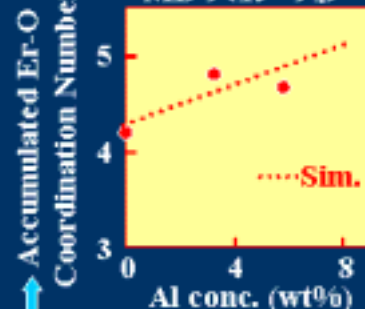


シミュレーション結果(3) Er-O配位数(XAFSとの比較)

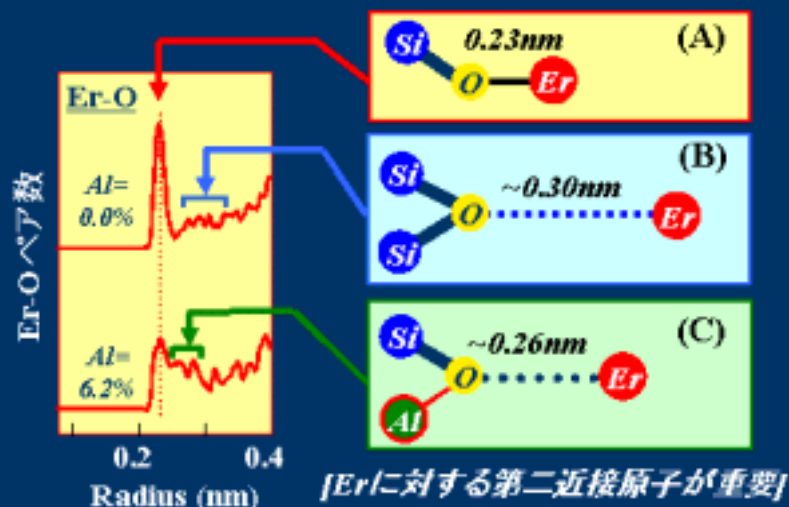
XAFS 測定



MD シミュレーション



シミュレーション結果(4) Er周囲の局所構造



まとめ

放射光分析と分子動力学シミュレーションを組み合わせ、
Al共添加によるEDF構造の変化を解析した：

- (1) EDFコア(~15 μ m径)の X線散乱/XAFS測定に成功。
- (2) MDシミュレーション⇒X線散乱/XAFS結果を定性的に再現。
- (3) Al共添加による構造変化= Er-O距離の増大、及び、
Er-O配位数の増加であることを確認。
- (4) Erに対する第二近接原子(Si or Al)がEr局所構造に
大きく影響すると考えられる。

(今後) 今回の知見を活用し、シミュレーションと実験で
新規材料の探索を目指す