

# 特性改善が進むファイバーレーザー用 LMA ダブルクラッドファイバー

— nufern 製 第 9 世代ダブルクラッドファイバーの特長 (2015/06 版) —

nufern

nufern は 1998 年に会社創設以来 通信用の光ファイバーの製造販売から始まり各種光ファイバーの開発・製造・販売を進めてきました。その中でファイバーレーザー用光ファイバーである LMA (Large Mode Area) 方式のダブルクラッドファイバー (DCF) に特に注力し 開発・製造を進めています。現在ではファイバーレーザーを製造販売している全世界のメーカーへ供給される光ファイバーの 90~95% を納入させて戴いております。製造開始から 17 年経ちますが、ここ 5 年間はその特性改善が著しく進み、ファイバーレーザーの高性能化・高信頼性化が実現されてきておりので その一端を紹介させて戴きます。最新技術・特性の紹介にあたり 次のような順で話を進めさせて戴きます。

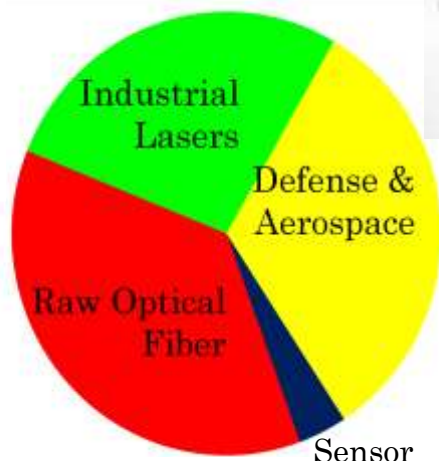
1. nufern の製品紹介
2. 光ファイバーを製造するにあたり、その製造プロセスや信頼性を高める各種計測技術を紹介
3. ファイバーレーザー用ダブルクラッドファイバー (DCF)

それでは nufern の製品紹介から始めさせて戴きます。

## 1. nufern 製品紹介

nufern では光通信用光ファイバーだけでなく、近紫外・可視光から  $2\mu\text{m}$  付近の近赤外域まで使用可能な石英製光ファイバーを開発販売してきましたが 加工用ファイバーレーザーの市場が拡大するに伴いファイバーレーザーで使用する LMA 方式のダブルクラッドファイバーに注目し、その開発と製造販売を進めてきました。更にその中で 開発した光ファイバーを用いてファイバーレーザー発振器や増幅器を開発し販売も進めております。またパンダ方式を採用した偏波保持ファイバーも製造しており、種々の応用に向けて販売しております。このような状況を nufern 社製品群をマーケット別に捉えると 下記のような 4 つになります。

- a. 光ファイバー素線の製造販売
- b. 製造業 (産業界) 向けファイバーレーザーの製造販売
- c. 軍需・航空宇宙応用向けファイバーレーザーの製造販売
- d. センサー応用向け光ファイバーの製造販売



現在 **nufern** のマーケットは 光ファイバー素線、製造業向けファイバーレーザー、軍需・航空宇宙応用向けファイバーレーザーがほぼ 1/3 ずつを占めており、上図の様になりますが 将来に向け センサー応用に適したファイバー応用製品の開発・製造販売を強化して行きます。

光ファイバー素線は通信用の光ファイバーだけでなく、ファイバーの素材である石英が光を透過できる近紫外域から近赤外域までの光を導光する光ファイバーやファイバーレーザで用いる各種光ファイバーがあります。

ファイバーレーザー用光ファイバーを分類すると下記のようになります。

- ・ シングルクラッドファイバー（アクティブおよびパッシブファイバー）
- ・ 希土類元素添加ダブルクラッドファイバー（アクティブファイバー）
- ・ レーザー発振器の内外で用いる導光用ファイバー（パッシブファイバー）
- ・ 励起用 LD 出力光を導光するマルチモードファイバー
- ・ フォトセンシティブファイバー（レーザー共振器を構成するのに用いる **Fiber Bragg Grating** 用）
- ・ ファイバーレーザーの出力光を導光するためのマルチモードファイバー
- ・ エンドキャップファイバー（ファイバー出射端面損傷に対する保護用）

製造業向けファイバーレーザーとしては マーキング用ファイバーレーザー発振器の製造販売を行っており、レーザーマーカ装置を製造販売されている多数のメーカー様に納入させて戴いております。

OEM ビジネス向けファイバーレーザーとしてはこの他 2 ミクロン帯で発振する医療機器用ファイバーレーザー発振器などがあります。ご要求があれば **OEM** 製品としての高出力連続発振ファイバーレーザーの製造も可能です。

軍需・航空宇宙応用向けファイバーレーザーとしてはレーザートラッピング用単一周波数ファイバーレーザー増幅器の技術を基にした狭帯域 (2~5GHz) ファイバーレーザーの開発製造販売を進めています。コヒーレント結合などを用いて更に高出力ビームを得るための研究開発に用いられています。

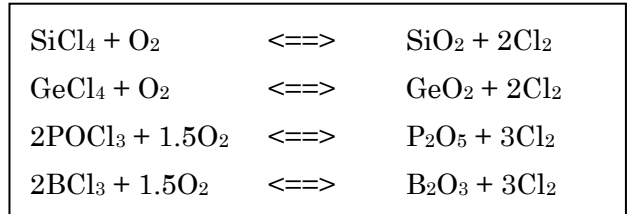
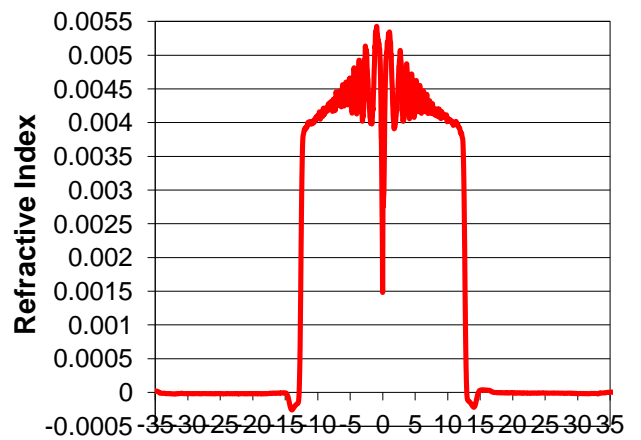
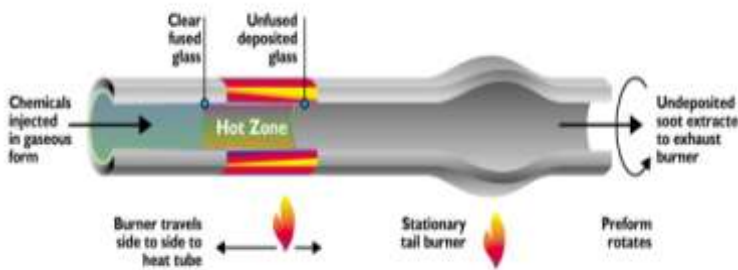
センサー用光ファイバーとしては 光ファイバージャイロ向けにクラッド径が 80  $\mu$  m 以下のパンダファイバーを製造販売しています。ファイバー素線だけでなく コイル状に巻いた状態での製品も販売しております。センサー用途例としては石油掘削などで利用されており、**nufern** の新たなビジネスマーケットとして大きく伸びることが期待されています。

この様に **nufern** では 光ファイバーを事業の核として種々な装置も製作しています。

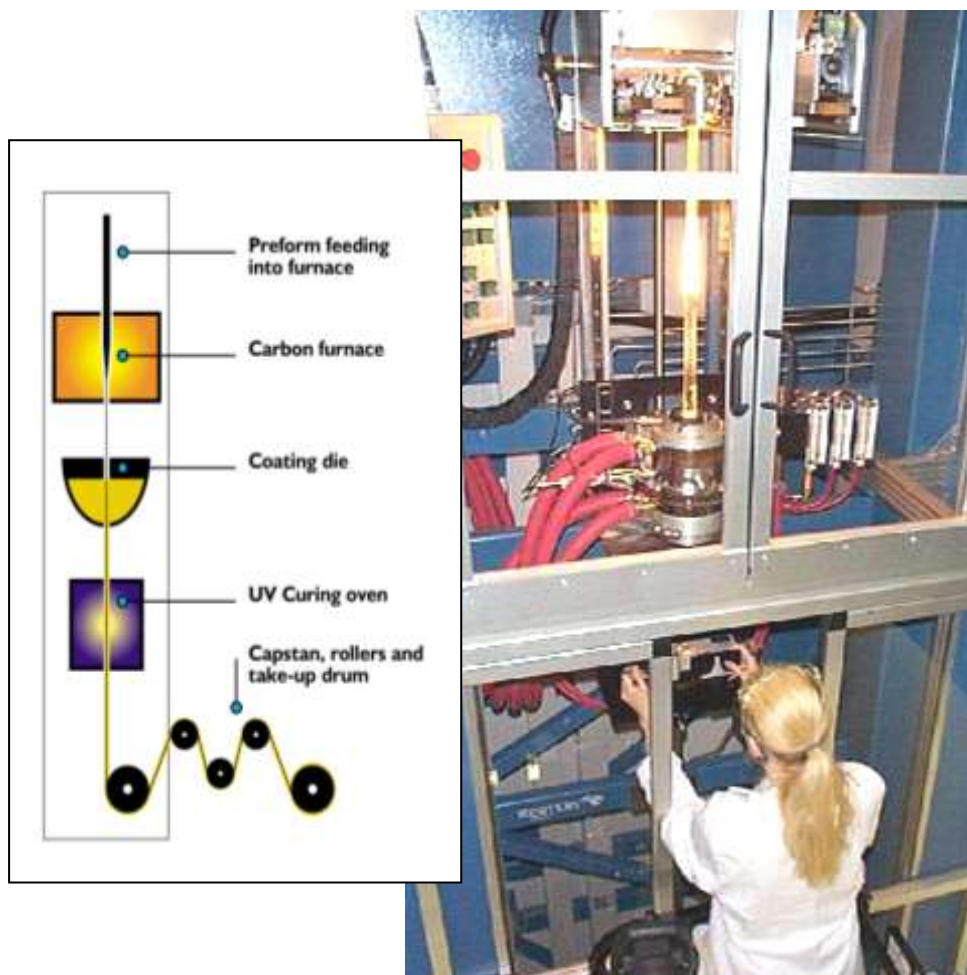
次に光ファイバーの製造方法やその特性検査のための測定器などの保持設備について 紹介いたします。

## 2. nufern 社の光ファイバーの製造プロセスや信頼性を高める各種計測技術の紹介

光ファイバーに用いる石英は全て超高純度ガスを素材として用いています。そのため不純物が極端に少ないため 低損失（低吸収）な状態で光の導光が可能となります。光ファイバー製造するにはファイバーの構造によって決まるプリフォーム（母材）を製作する必要がありますが、nufern では プリフォームを MCVD 法 (Modified Chemical Deposition Method)によって製造しています。 下図の様なガラス旋盤に直径 1 インチほどの石英管を保持し、それを回転させながら 外部から O<sub>2</sub> ガスによって気化した SiCl<sub>4</sub>、GeCl<sub>4</sub>、POCl<sub>3</sub> ガスを混合して送り込みます。この管の外側から水素・酸素バーナーによって、1,600-1,800℃まで加熱します。すると送り込まれた酸化物ガスはスート (Soot) と呼ばれるガラス微粒子の集合体になり 回転している石英ガラス管の内面に堆積してゆきます。スートはバーナーからの熱を受けてより高温になり透明石英ガラスの層に変化します。このような堆積操作を 100 回程度行い、最後に管の内側に所要のガラス層が積層された石英管をさらに加熱し、中心をつぶしてプリフォームとしています。



次にプリフォームから光ファイバーを引く線引き工程をご紹介します。下図にて 線引き機（タワー）の外観をご覧ください。製造された最大長さ 50cm プリフォームを縦方向に回転しながら約 2000℃にした電気炉にいれ、石英が溶けて自重で糸状に引き伸ばされて垂れてきたものを、下方から巻き取り、そのスピードを調整しながらファイバー素材の直径が所望の寸法になるように引っ張り、その後 保護樹脂で被覆して巻き取り、光ファイバー素線となります。nufern では 複数台の線引き機を使っており、紫外線硬化型樹脂対応用 Tower が 2 台、熱硬化型樹脂対応の Tower を 1 台を配置しています。



線引きした光ファイバーの特性測定ですが、nufern ではダブルクラッドファイバーなどの Specialty Fiber に対して 特に必要となる特性（仕様値）を測定する為に所有している機材について 以下に記載致します。

吸収・蛍光発光スペクトル特性測定用分光器



形状測定器（円形/多角形外形）





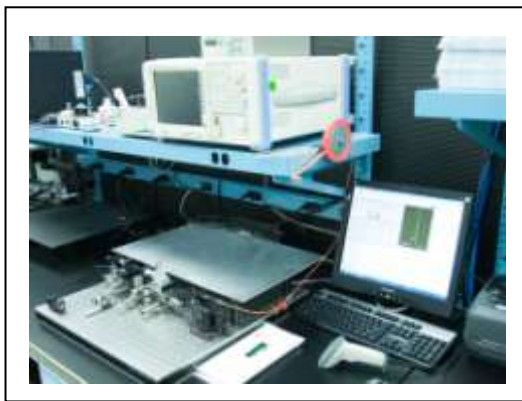
分散と複屈折測定器



偏光特性/クロストーク測定器



コア添加希土類吸収測定器



テレコディア規格測定 (GR-20)

/環境試験器、引張り試験器



代表的な測定機材をご紹介致しましたが、このような機材を揃え、仕様・品質の管理を行っており、信頼性の高い光ファイバーを製造販売しております。

製造する Specialty Faiber は次の 6 種に分類できます。

- ・ ダブルクラッドファイバー
- ・ 偏波保持ファイバー
- ・ ジャイロスコープ用ファイバー
- ・ シングルモードファイバー
- ・ マルチモードファイバー
- ・ 地球物理定数測定用ファイバー

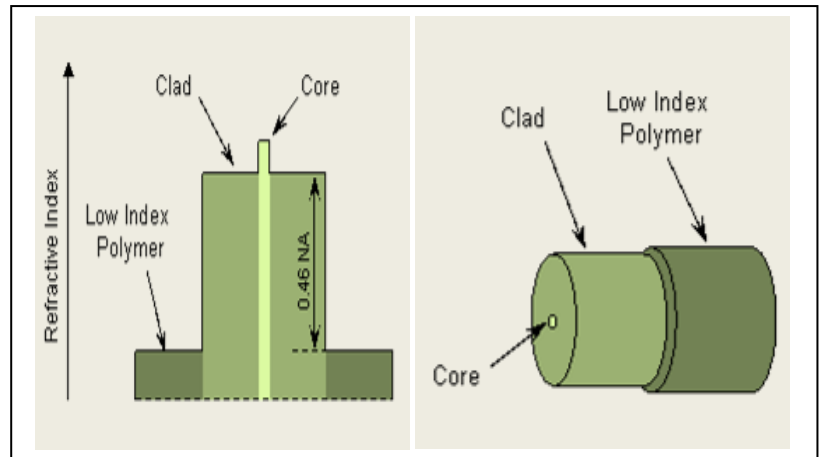


次に本論のファイバーレーザー用ダブルクラッドファイバーについて紹介致します。

### 3. ファイバーレーザー用ダブルクラッドファイバー (DCF)

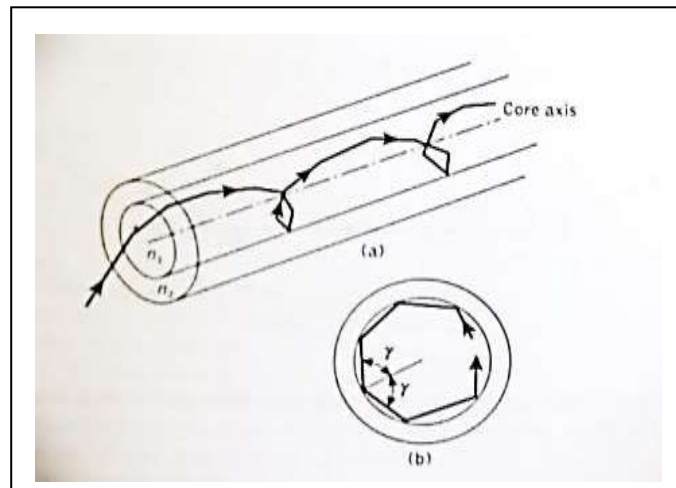
#### 3.1 ダブルクラッドファイバーの構造

ダブルクラッドファイバーは 高出力  
ファイバーレーザー発振器・増幅器用の  
光ファイバーで、右図の右の図に  
その構造と 左の図にコア、  
クラッド (1st Clad)、  
低屈折率ポリマー (2nd Clad) の屈折率  
分布を示しております。

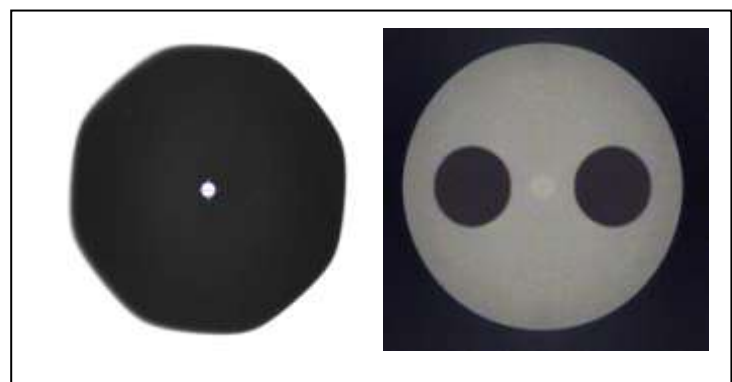


1st クラッドと2nd クラッドの界面の  
全反射を利用しファイバーレーザー  
励起用半導体レーザー出力光を導光し  
ます。

1st クラッドを伝搬する光は全反射により  
反射しながらファイバー内を伝搬します。  
その内にコア部分も通過し コア内の  
希土類元素 (蛍光材料) により吸収され  
ます。



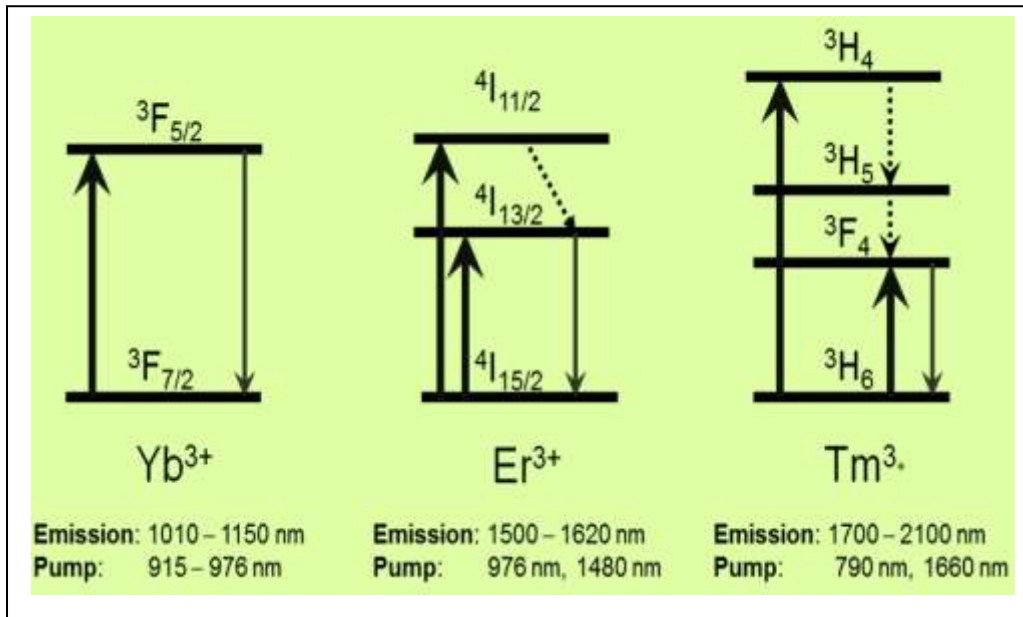
クラッドの外形が円形ですと 1 部の励起  
光はコアを通過せずに 1st を伝搬するの  
で これを防ぐために 1st クラッドの外形は  
右図の様に 八角形にしてあります。  
パンダ型偏波保持ファイバーの場合は  
1st クラッド内に屈折率の異なるストレス  
棒が配置されますので 1st クラッドの  
外形を八角形にしなくても クラッド内を  
伝搬する LD 光はコアを通過しながら伝搬し、  
効率良くコア内の希土類元素を 励起します。



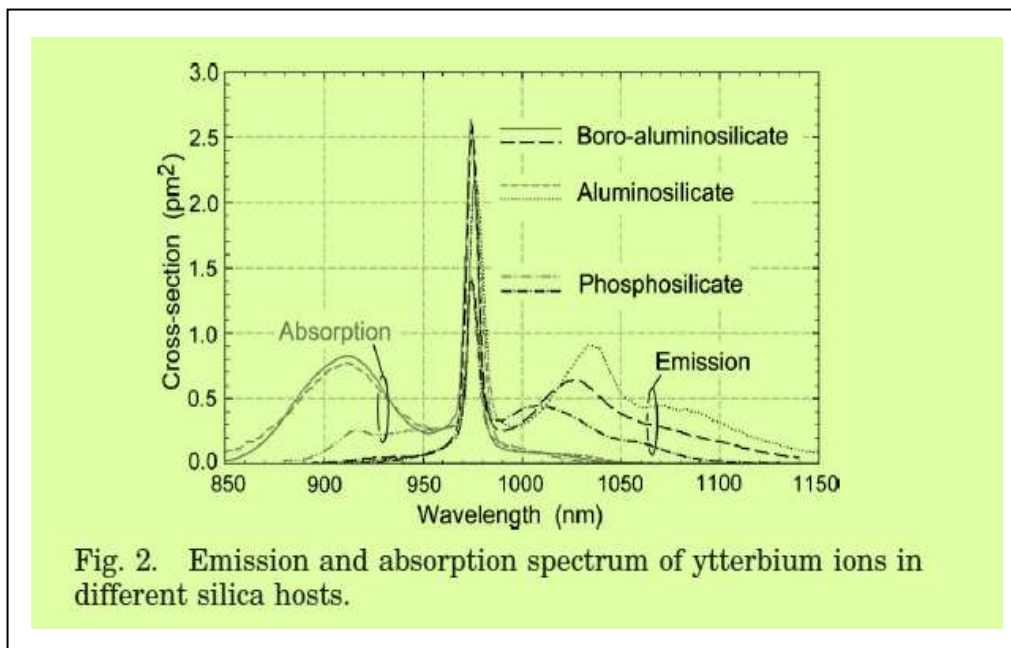
### 3.2 希土類元素が添加されたダブルクラッドファイバー

ダブルクラッド構造をした光ファイバーのコアに希土類元素を添加することにより ファイバーレーザー用としての（アクティブ）ダブルクラッドファイバーDCF が製造されています。nufern では  $1\mu$  帯から  $2\mu$  帯までカバーするために Yb、Er、Er/Yb、Tm、Ho をドープしたアクティブダブルクラッドファイバーをファイバーレーザー発振器と増幅器用に製造しています。各希土類元素を用いた発振・増幅波長は下記の様になりますが特殊な構成の発振器により、波長域の拡張が可能です。 Yb: 1,060~1,150nm、Er : 1,530~1625nm、ErYb : 1,530~1625nm、Tm : 1,900~2,100nm、Ho : 2,100~2,200nm。

下図はそれら希土類元素のエネルギー準位図の 1 例です。



nufern のアクティブダブルクラッドファイバーは効率の良いレーザー動作をさせるために母材となる適切なガラス材質を選定しております。ガラス材質の違いにより吸収や蛍光の断面積が異なる例を Yb イオンを下図でご覧戴けます。

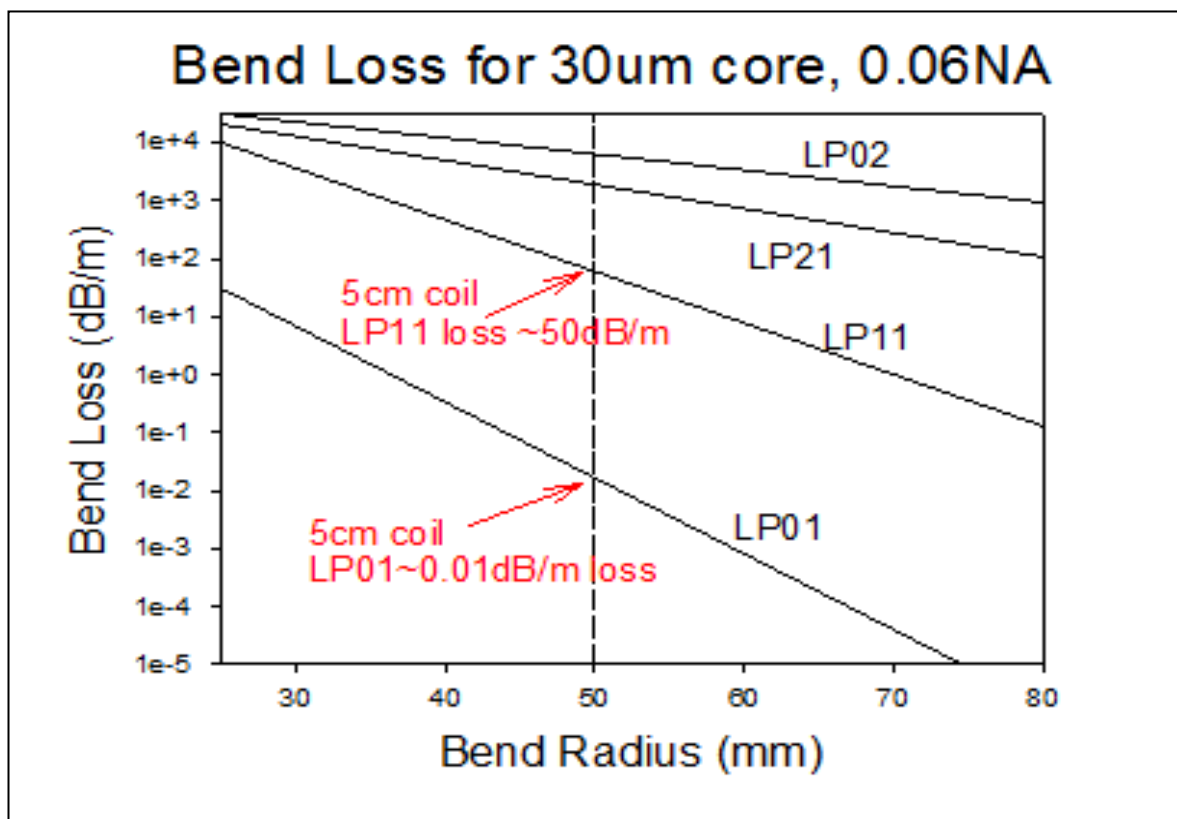
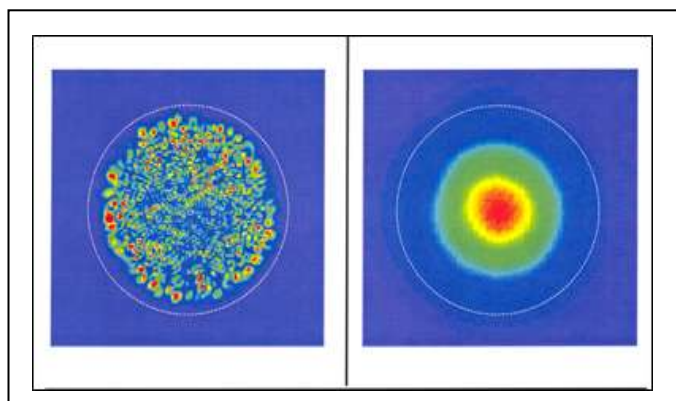


### 3.3 LMA方式のダブルクラッドファイバー (LMA: Large Mode Area)

レーザー発振をさせるには励起光をコアにドープした希土類元素に効率よく吸収させ、発生するレーザー光を伝搬させるために開発されたものがダブルクラッドファイバー (DCF) です。LMA方式 DCF とシングルモードファイバー、マルチモードファイバーの仕様の違いを下表に示します。

	Singlemode "SM"	Multimode "MM"	Large Mode Area "LMA"
# Signals	1	~ 1000	2 to 5
Core Size (microns)	3 - 10	50 - 150	15 - 50
NA	0.12 - 0.20	0.20 - 0.35	0.05 - 0.10

LMA方式 DCF の特長はコアサイズが大きく、かつ NA (Numerical Aperture) が小さいことです。LMAダブルクラッドファイバーはまっすぐ伸ばして使用した場合 15-50 の横モードが立ちますが適切な曲げ半径でコイル状にすることにより横シングルモードで動作させることが可能です。





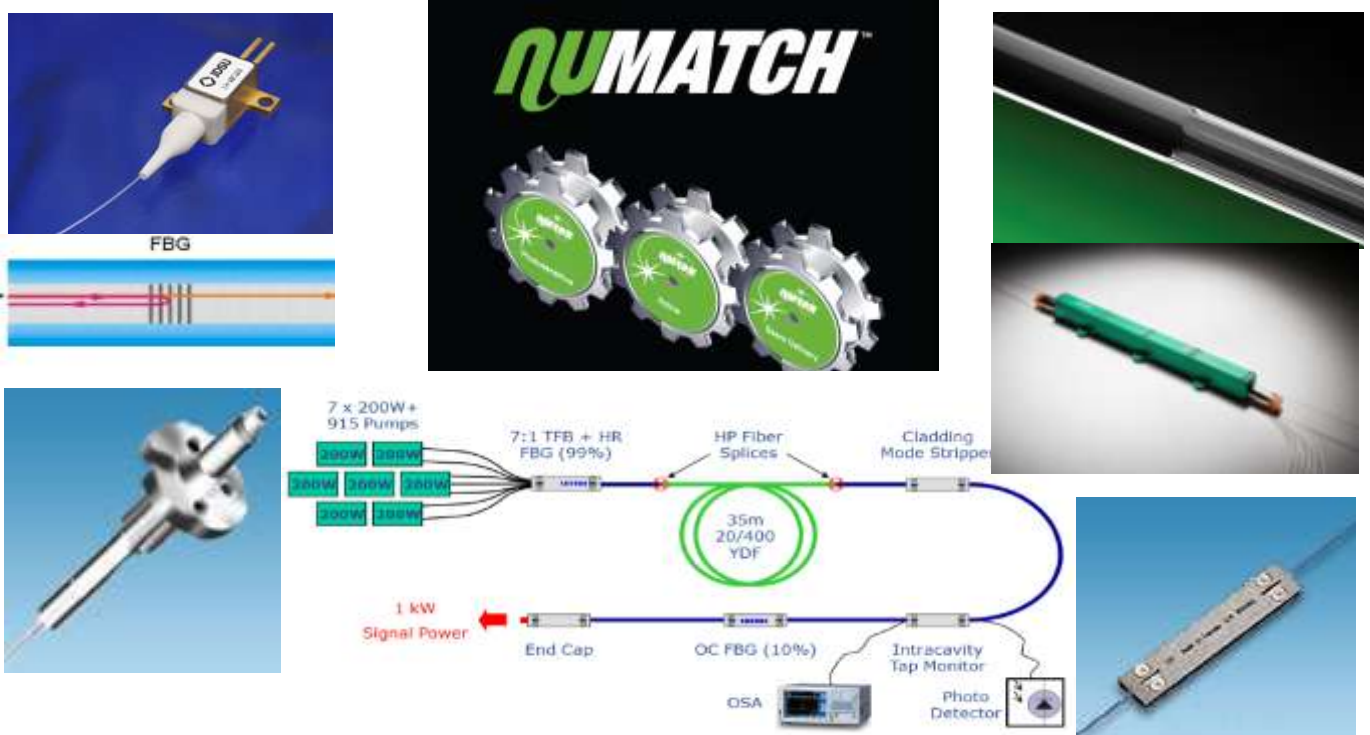
### 3.4 新世代型ダブルクラッドファイバー (DCF) の登場

nufern では 長年にわたりファイバーレーザー用 DCF を製造しておりますが その中でお客様からのご要望に応え 種々の特性改善を盛り込んだ DCF を作成し、お客様にお届けして参りました。年を追う毎に増える出力パワーに対応し フォトダークニングの発生しないファイバーの改善を進めて参りました。また これだけでなく、次のような事象に対しても改善を進めています。

#### 3.4.1 コア径/クラッド径の製造誤差を小さくし、融着時に発生する損失の低減

-- Precision Matched (-M) 社内規格ファイバーと Ultra Matched(-M+) 社内規格ファイバー --の登場

ダブルクラッドファイバーの登場当時はコア径やクラッド径の製造誤差範囲が若干広く アクティブファイバーとパッシブファイバーを融着する際の融着作業のしやすさに課題がありました。その結果発生する損失もありました。ただ ファイバーレーザーの特長の1つが アクティブファイバーやパッシブファイバー(FBG、Combiner) などの光学部品を 融着により接続する事であり、空間に光を出さずに構成できるという大きな特長があります。



これらの点からも 融着で発生する損失を低減する必要があり、お客様からも 改善のご要求がありました。nufern では これらのご要求を受け止め、ファイバープリフォーム工程の改善や線引き工程の改善により これらコア径、クラッド径の製造誤差を小さくした Precision Matched (-M) ファイバーを 2011 年から更に Ultra Matched(-M+) ファイバーを 2014 年から販売しています。

ファイバーレーザー発振器内に使用するアクティブファイバーとパッシブファイバーの融着だけでなく FBG 共振器ミラー用のパッシブファイバーや励起光を導光するコンバイナー、アイソレータ、コリメータなど各種ファイバー導光光学部品に用いるパッシブファイバー相互間の融着損失が低減され、ファイバーレーザー装置としての損失が大きく改善されるようになってきております。

Ultra Matched(-M+) ファイバーは Precision Matched (-M) と比較しても コア径・クラッド径の寸法公差は 25% 以上改善されており、入手可能なアクティブファイバーの中で最も小さな融着損失を実現できます。

また 融着工程に必要となる作業時間や融着損失のバラツキも低減し、融着不良の発生が低くなると共に再融着作業時間、テスト時間などが減少するという利点があります。融着損失によって生じる迷光や再吸収に伴う負荷を低減できるので より高出力なファイバーレーザーの実現に寄与し、結果として ビーム品質や効率の改善など特性の向上に寄与するところが大きいです。

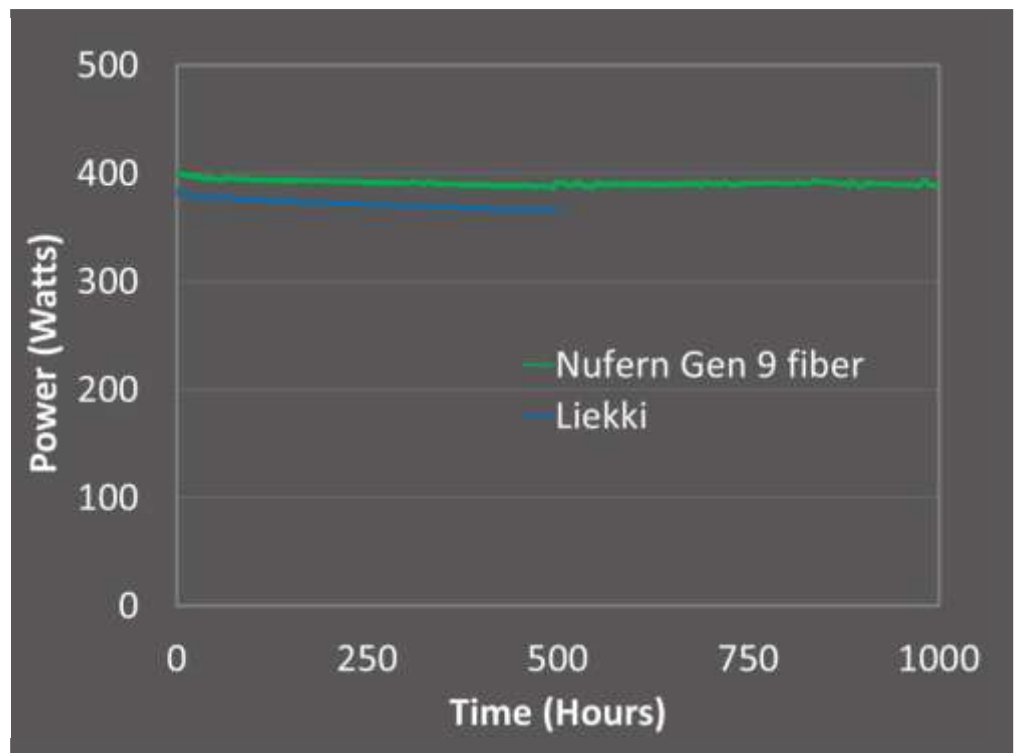
逐次 寸法公差の小さい Ultra Matched ファイバーに変更して参ります。 Precision Matched と Ultra Matched に関する説明を末尾に添付しますのでご参照下さい。また それぞれのアクティブファイバー (LMA、PLMA) に適応するパッシブファイバーが一目で分かり、選定戴ける表も用意されておりますので添付致します。ご利用下さい。

### 3.4.2 第9世代 (Gen 9) ダブルクラッドファイバーの登場

nufern 製 第9世代ダブルクラッドファイバーのコアとクラッドは 右図の様に 変動が小さな屈折率分布を持つだけでなく 高吸収における優れたフォトダークニング耐久性を持つ様に改良を加えられました。その他 第2クラッド用 Low Index Polymer は NuCoat-FA 仕様が適用され、損失の発生を抑えるためにコア径・クラッド径の規格は Precision Matched (-M) の特性が適用されています。



前述の改善により nufern 製 Gen 9 ファイバーは右図の様に 400W という高出力パワーをほとんど出力低下もなく 1,000 時間を超えて発振し続けています。他社製ファイバーの様に ~500 時間で フォトダークニングが発生し、出力が停止した事はありません。



LMA-YDF-10/200 や  
 LMA-YDF-25/250 という  
 DCFを用いて 励起光の  
 吸収された入力光パワーに  
 対して85%~80%という  
 高いスロープ効率も達成して  
 おります。  
 右図をご覧ください。



### 3.4.3 ダブルクラッドファイバーの2nd Cladに用いる Low Index Polymer の性能改善。

— NuCoat と NuCoat-FA ダブルクラッドファイバーの登場 —

ダブルクラッドファイバー(DCF)では 希土類元素(酸化物)は Al、Ge、P等の酸化物と共にコアを構成する石英ガラスに添加されています。

1st Cladも石英ガラスですが コアより屈折率の低い石英ガラスです。2nd Cladは Low Index Polymer 樹脂により構成され、ファイバーレーザの励起光となる半導体レーザ光を導光する様に2つのクラッド部分で構成されています。

初期のDCFに用いられていた Low Index Polymer をコートしたファイバーを用いたファイバーレーザーを 設置環境が管理されていない 言い換えると 室温や湿度が高い高温・多湿な環境で使用すると 非常に早く出力が低下する現象が発生しました。



当初ファイバーレーザーは 先進国で用いられることが多く 設置する場所は室温や湿度についてきちんと管理された場所に設置されていました。その後 ファイバーレーザーは主要な加工システムの1つとなり、世界中で使用されるようになりました。製品の製造地域が 先進諸国から高温・多湿な国へも移行が進み、ファイバーレーザーの設置場所の室温や湿度が管理されない工場でも 当然のように使われ始めてました。

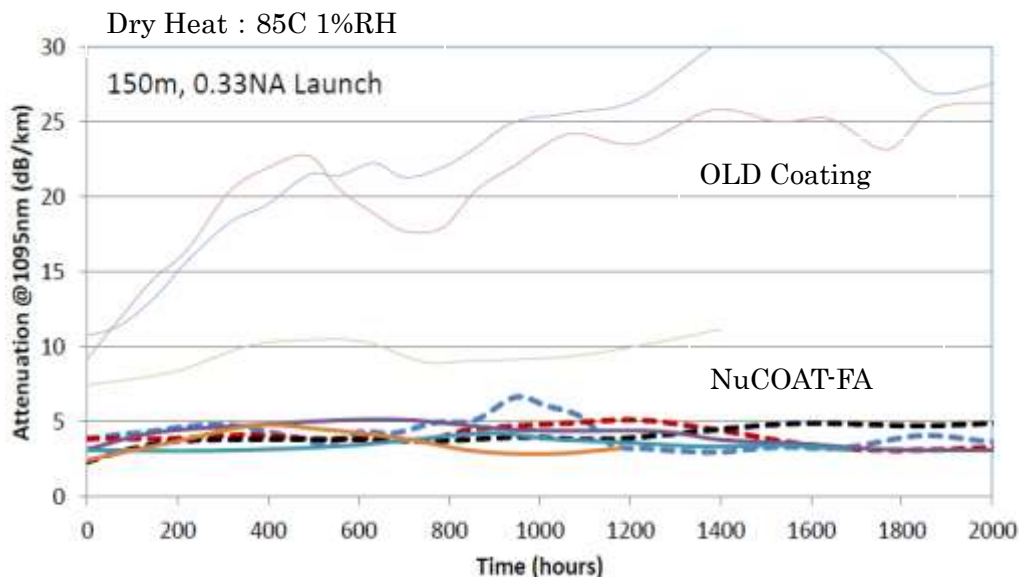
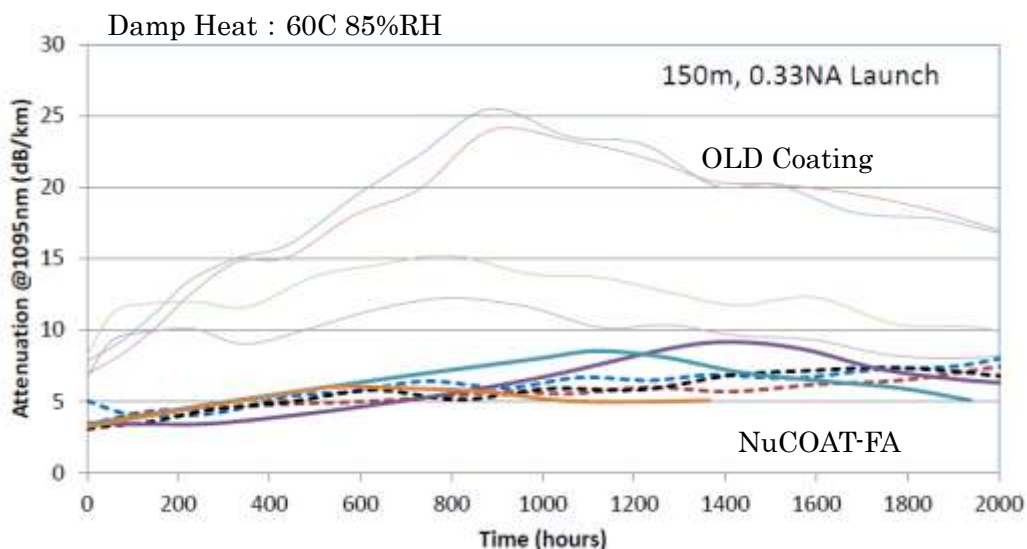
この結果 高温・多湿な環境下で ファイバーの2nd Cladである Low Index Polymer が水分を吸収・吸着し、結果として膨潤し、ファイバーの石英ガラスの表面から浮くなどの現象が発生し、ファイバーレーザーの性能がキープできないとか 破損するなどの事象が発生しました。

nufern ではこの対策として 自社内で Low Index Polymer の成分をフッ素重合体の Low Index Polymer に置き換え改善を実施しました (NuCoat)。更に ファイバー素線への被覆する製造プロセスの改善 (NuCoat-FA) を実施しました。結果として 耐久性の高い DCF が 実現されました。 本改善は nufern 社内のポリマー樹脂技術者が担当しており、特許などの取得も行いました。

この技術と開発された光ファイバーは 業界では最先端の技術を持った製品となっています。

性能確認試験では 高温・多湿 (高い温度 60°C・高い湿度 85%) 下で また 高温 (85°C) ・低湿 (1%) の環境下で 2000 時間以上の連続運転試験にて 損失の変化を測定しました。

その結果 下図にてお判りいただけますように 従来の特性が大きく改善したのを確認しております。



従来ファイバーはすでに NuCoat により構成されており 適宜 NuCoat-FA に対応した製品への移行を進めております。これらの技術によりダブルクラッドファイバー (DCF) の信頼性は格段に向上し、ファイバーレーザーシステムの性能向上に大きく貢献しております。 なお NuCoat に関する性能改善試験結果の報告が添付の資料に纏めら得ておりますので ご興味のある方はご覧下さい。



#### 4. 終わりに

現在 発振器単体で1 kWを超えるファイバーレーザー出力が達成される時代になり、いろいろなお客様の所で種々の目的にファイバーレーザーが開発・製造される様になりました。

nufern では お客様各位のご要求を 実現するため、更に高性能なダブルクラッドファイバーを実現すべく研究・開発を継続して参ります。

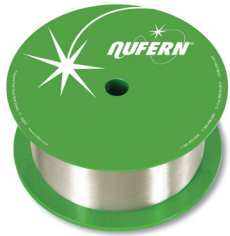
是非 高出力ファイバーレーザーや各種出力形態のファイバーレーザーを開発される時には nufern 製 LMA 方式ダブルクラッドファイバーをご採用・ご利用下さい。宜しくお願い致します。



本記事でのキーワード：

Precision Matched、Ultra Matched、NuCoat (-M)、NuCoat-FA (-M+)、Gen 9、nufern、LMA、ダブルクラッドファイバー、アクティブファイバー、パッシブファイバー、ファイバーレーザー、組み立て作業・テスト時間の短縮、損失低減による効率向上、ファイバーレーザーの効率向上、





## Nufern Laser Component and Delivery Fibers

Nufern has the matched set of fibers for all your needs. Our capabilities include core diameters up to 200  $\mu\text{m}$ , clad diameters up to 600  $\mu\text{m}$ , and both low refractive index acrylate (double clad) and high refractive index acrylate (single clad), single mode, multimode, polarization maintaining (PM), large mode area (LMA), and large flattened mode (LFM) designs.

Active Fiber Part #	Passive Part #	Photosensitive Part #	PM Active Part #	PM Passive Part #
<b>Ytterbium Fibers</b>				
<b>Ultra Matched (M+)</b>				
LMA-YDF-20/400-M+	LMA-GDF-20/400-M+		PLMA-YDF-20/400-M+	
LMA-YDF-25/400-M+	LMA-GDF-25/400-M+		PLMA-YDF-25/400-M+	
LMA-YDF-30/250-HI-M+	LMA-GDF-30/250-M+			
<b>Precision Matched (M)</b>				
LMA-YDF-20/400-M	LMA-GDF-20/400-M	PS-GDF-20/400-M	PLMA-YDF-20/400-M	PLMA-GDF-20/400-M
LMA-YDF-10/130-M	LMA-GDF-10/130-M		PLMA-YDF-10/125-M	PLMA-GDF-10/125-M
LMA-YDF-15/130-M	LMA-GDF-15/130-M			
LMA-YDF-25/250-M	LMA-GDF-25/250-M		PLMA-YDF-25/250-M	PLMA-GDF-25/250-M
LMA-YDF-25/400-M	LMA-GDF-25/400-M		PLMA-YDF-25/400-M	PLMA-GDF-25/400-M
LMA-YDF-20/130-M	LMA-GDF-20/130-M			
LMA-YDF-30/250-HI-M	LMA-GDF-30/250-M			
<b>NuGEN9 Precision Matched (M)</b>				
SM-YDF-8/130-9M	SM-GSF-8/130-M & SM-GDF-8/130-M			
LMA-YDF-10/125-9M	LMA-GSF-10/125-M & LMA-GDF-10/125-M			
LMA-YDF-10/200-9M	LMA-GDF-10/200-M			
LMA-YDF-30/250-9M	LMA-GDF-30/250-M			
LMA-YDF-20/400-9M	LMA-GDF-20/400-M			
<b>Complementary</b>				
SM-YSF-LO/HI	1060-XP		PM-YSF-LO/HI	PM980-XP
SM-YDF-5/130-VIII	SM-GDF-5/130		PM-YDF-5/130-VIII	PM-GDF-5/130
LMA-YDF-10/130-VIII	LMA-GDF-10/130-M		PLMA-YDF-10/125-VIII	PLMA-GDF-10/125-M
LMA-YDF-10/400-VIII	LMA-GDF-10/400		PLMA-YDF-10/400-VIII	PLMA-GDF-10/400
LMA-YDF-15/130-VIII	LMA-GDF-15/130		PLMA-YDF-15/130-VIII	PLMA-GDF-15/130
LMA-YDF-20/130-VIII	LMA-GDF-20/130-M		PLMA-YDF-20/130-VIII	PLMA-GDF-20/130
LMA-YDF-20/400-VIII	LMA-GDF-20/400-M		PLMA-YDF-20/400-VIII	PLMA-GDF-20/400-M
LMA-YDF-25/250-VIII	LMA-GDF-25/250-M		PLMA-YDF-25/250-VIII	PLMA-GDF-25/250-M
LMA-YDF-25/400-VIII	LMA-GDF-25/400-M		PLMA-YDF-25/400-VIII	PLMA-GDF-25/400-M
LMA-YDF-30/250-VIII	LMA-GDF-30/250		PLMA-YDF-30/250-VIII	PLMA-GDF-30/250
LMA-YDF-30/250-HI-VIII	LMA-GDF-30/250		PLMA-YDF-30/250-HI-VIII	PLMA-GDF-30/250
LMA-YDF-30/400-VIII	LMA-GDF-30/400		PLMA-YDF-30/400-VIII	PLMA-GDF-30/400
LMA-YTF-22/400/480	FUD-3355			
<b>Erbium/Ytterbium Fibers</b>				
<b>Precision Matched</b>				
SM-EYDF-6/125-HE	SM-GDF-6/125-M (Lasers/Amplifiers)		PM-EYDF-6/125-HE	PM-GDF-6/125-M (Lasers/Amplifiers)
SM-EYDF-6/125-XP	SM-GDF-6/125-M			
MM-EYDF-12/130-HE	MM-GDF-12/130-M		PM-EYDF-12/130-HE	PM-GDF-12/130-M
<b>Complementary</b>				
SM-EYDF-6/125-HE	SM-GDF-1550 (Matches Standard SMF)		PM-EYDF-6/125-HE	PM-GDF-1550 (Matches Standard SMF)
MM-EYDF-10/125-XP	SM-GDF-1550 (Matches Standard SMF)			
LMA-EYDF-25P/300-HE	LMA-GDF-25/300	PLMA-EYDF-25P/300-HE	PLMA-GDF-25/300	
<b>Thulium Fibers</b>				
<b>Complementary</b>				
SM-TSF-9/125	SM 1950		PM-TSF-9/125	PM 1950
SM-TDF-10P/130-HE	FUD-4070		PM-TDF-10P/130-HE	PM-GDF-10/130-2000-M
LMA-TDF-25P/250-HE	FUD-3440			
LMA-TDF-25P/250-LC	FUD-3440			
MM-TDF-25/250	FUD-3416			
LMA-TDF-25P/400-HE	FUD-3793		PLMA-TDF-25P/400-HE	FUD-3716



7 Airport Park Road, East Granby, CT 06026 • 860.408.5000 • Toll-free 866.466.0214 • Fax 860.844.0210  
E-mail info @ nufern.com • [www.nufern.com](http://www.nufern.com)

Nufern follows a policy of continuous product improvement. Specifications are subject to change without notice. Let us know how Nufern can assist with your requirements.



NU0115-6/15