

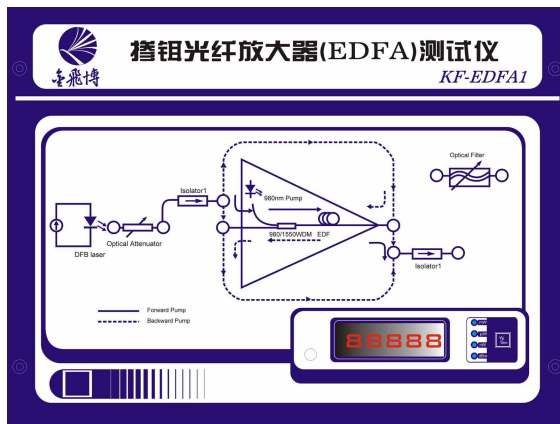
## 实验二十 铒光掺纤放大器（EDFA）的性能测试

实验序号 No:225048

# 掺铒光纤放大器性能测试

### 实验简介

目前实用化的光纤放大器主要有掺铒光纤放大器（Erbium-Doped Fiber Amplifier, EDFA）、半导体光放大器（SOA）和光纤喇曼放大器（FRA）等，其中掺铒光纤放大器以其优越的性能现已广泛应用于长距离、大容量、高速率的光纤通信系统、接入网、光纤 CATV 网、军用系统（雷达多路数据复接、数据传输、制导等）等领域。



### 一、实验目的

1. 测试掺铒光纤放大器（EDFA）的各种参数，并根据测量的参数计算增益、输出饱和功率和噪声系数；
2. 了解掺铒光纤放大器（EDFA）的基本结构和功能。

### 二、实验原理

在光纤放大器实用化以前，为了克服光纤传输中的损耗，每传输一段距离都要进行“再生”，即把传输后的弱光信号转换成电信号，经过放大、整形后，再去调制激光器，生成一定强度的光信号，即所谓的 O—E—O 光电混合中继。但随着传输码率的提高，“再生”的难度也随之提高，于是中继部分成了信号传输容量扩大的“瓶颈”。光纤放大器的出现解决了这一难题，其不但可对光信号进行直接放大，同时还具有实时、高增益、宽带、在线、低噪声、低损

耗的全光放大功能，是新一代光纤通信系统中必不可少的关键器件；由于这项技术不仅解决了损耗对光网络传输速率与距离的限制，更重要的是它开创了 C+L 波段的波分复用，从而将使超高速、超大容量、超长距离的波分复用（WDM）、密集波分复用（DWDM）、全光传输、光孤子传输等成为现实，是光纤通信发展史上的一个划时代的里程碑。

在目前实用化的光纤放大器中主要有掺铒光纤放大器（Erbium-Doped Fiber Amplifier, EDFA）、半导体光放大器（SOA）和光纤喇曼放大器（FRA）等，其中掺铒光纤放大器以其优越的性能现已广泛应用于长距离、大容量、高速率的光纤通信系统、接入网、光纤 CATV 网、军用系统（雷达多路数据复接、数据传输、制导等）等领域。在系统中 EDFA 有三种基本的应用方式：功率放大器（Power booster-Amplifier）、中继放大器（Line-Amplifier）和前置放大器（Pre-Amplifier）。它们对放大器性能有不同的要求，功放要求输出功率大，前放对噪声性能要求高，而线放两者兼顾。

### 3. 掺铒光纤放大器的工作原理

EDFA 的结构图 15-1 所示：

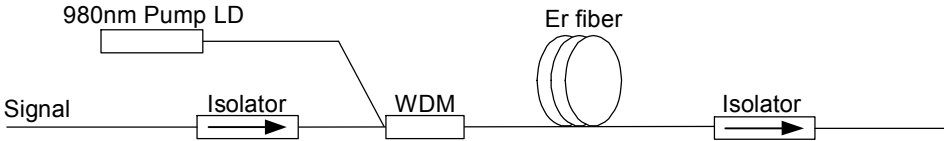


图 15-1 EDFA 结构示意图

Er<sup>3+</sup>能级图及放大过程：掺铒光纤放大器之所以能放大光信号的基本原理在于 Er<sup>3+</sup>吸收泵浦光的能量，由基态 <sup>4</sup>I<sub>15/2</sub> 跃迁至处于高能级的泵浦态，对于不同的泵浦波长电子跃迁到不同的能级，当用 980nm 波长的光泵浦时，如图 15-2 所示，Er<sup>3+</sup> 从基态跃迁至泵浦态 <sup>4</sup>I<sub>11/2</sub>。由于泵浦态上的载流子的寿命只有 1 μ s，电子迅速以非辐射方式由泵浦态豫驰至亚稳态，在亚稳态上载流子有较长的寿命，在源源不断的泵浦下，亚稳态上的粒子不断累积，从而实现粒子数反转分布。当有 1550nm 的信号光通过已被激活的铒光纤时，在信号光的感应下，亚稳态上的粒子以收集受激辐射的方式跃迁到基态，同时释放

出一个与感应光子全同的光子，从而实现了信号光在掺铒光纤的传播过程中不断放大。在放大过程中，亚稳态上的粒子也会以自发辐射的方式跃迁到基态，自发辐射产生的光子也会被放大，这种放大的自发辐射（ASE: Amplified Spontaneous Emission）会消耗泵浦光并引入噪声。

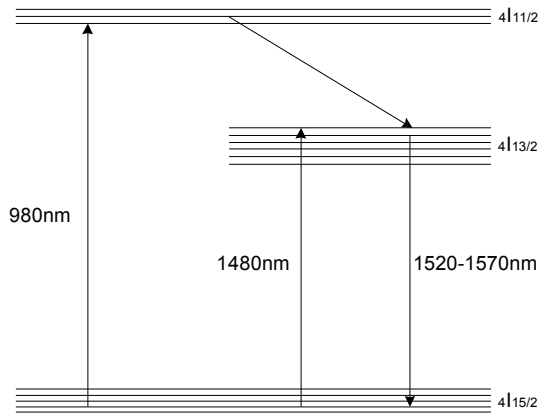


图 15-2 Er<sup>3+</sup> 的能级图

## 2. EDFA 的基本性能

EDFA 中，当接入泵浦光功率后输入信号光将得到放大，同时产生部分 ASE 自发辐射光，两种光都消耗上能级的铒粒子。当泵浦光功率足够大，而信号光与 ASE 很弱时，上下能级的粒子数反转程度很高，并可认为沿 EDFA 长度方向上的上能级粒子数保持不变，放大器的增益将达到很高的值，而且随输入信号光功率的增加，增益仍维持恒定不变，这种增益称为小信号增益。

在给定输入泵浦光功率时，随着信号光和 ASE 光的增大，上能级粒子数的增加将因不足以补偿消耗而逐渐减少，增益也将不能维持初始值不变，并逐渐下降，此时放大器进入饱和工作状态，增益产生饱和。饱和增益值不是一个确定值，随输入功率和饱和深度以及泵浦光功率而变。

**小信号（线性）增益：**输出与输入信号光功率之比，不包括泵光和 ASE 光。

$$G = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{out} - P_{ASE}}{P_{in}} \right) \quad (1)$$

式中  $P_{in}$  和  $P_{out}$  是被放大的连续信号光的输入和输出功率， $P_{ASE}$  是放大的自发辐射噪声功率。

**饱和输出功率：**增益相对小信号增益减小 3dB 时的输出功率称为饱和输出功率，在本实验中通过作图法得到。

**噪声系数 (NF: Noise Figure) :**定义为放大器输入信噪比和输出信噪比之比,

$$NF(dB) = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{ASE}}{h\nu G_1 B_0} + \frac{1}{G_1} \right)$$

$$= 10 \log_{10} \left( \frac{P_{ASE} P_{in}}{h\nu B_0 (P_{out} - P_{ASE})} + \frac{P_{in}}{(P_{out} - P_{ASE})} \right) \quad (2)$$

式中  $h$ : 普朗克常数,  $6.626196 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{sec}$      $\nu$ : 光频率,

$B_0$ : 有效带宽, 本实验里取为40nm。

**偏振相关增益变化  $\Delta G_p$  :** 测算出不同偏振状态下的小信号增益值, 找出所有小信号增益值中的最大值  $G_{max}$  和最小值  $G_{min}$ , 偏振相关增益变化  $\Delta G_p$  可由下式算出:

$$\Delta G_p = G_{max} - G_{min} \quad (3)$$

### 三、实验装置

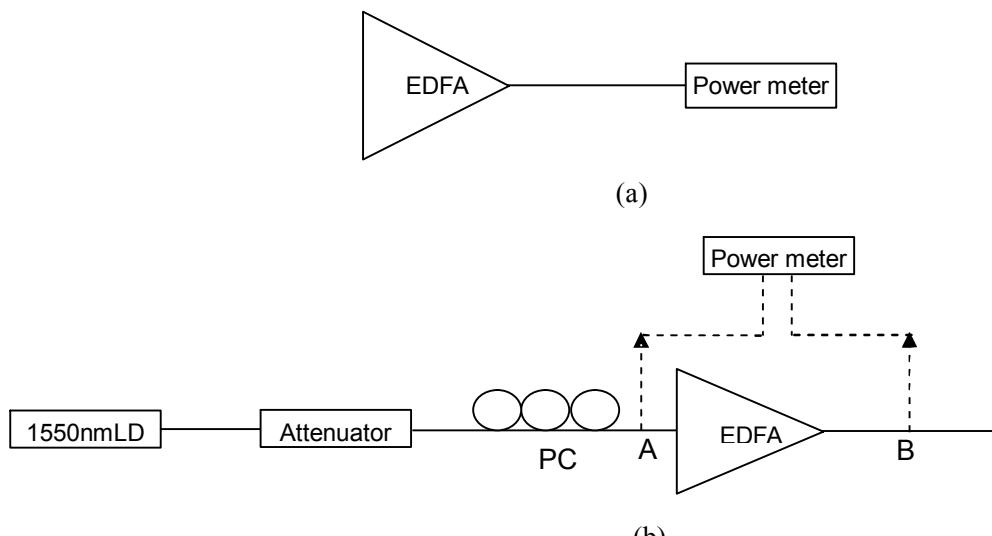
本实验需要下列实验器件:

1550nm LD 光源;    EDFA;    光固定衰减器 (Fixed Attenuator);

光功率计 (Optical power meter);    偏振控制器(Polatization control);

跳线(Jumper Cable);    法兰盘(Sdaptor)。

按图 15-3 所示将各器件放置在实验台上。



#### 四、实验步骤

1. 测量 EDFA 的增益曲线: 按图 3(a)所示用跳线连好实验装置, 开启 EDFA 稍候至稳定工作状态, 先使 EDFA 的输入悬空, 输出接光功率计, 测得 EDFA 的自发辐射噪声功率  $P_{ASE}$ ; 然后图 15-3(b)连接各装置, 开启 1550nm LD 光源稍候至稳定输出状态, 改变固定衰减器的数目, 组合出不同的衰减率: 35dB、30dB、25dB、20dB、15 dB、10 dB、5 dB; 用功率计在 A 点处测量并记录信号光的输入功率  $P_{in}$ , 同时对应每一个输入功率值, 都要在 B 点处测得一个经过 EDFA 的放大后输出功率  $P_{out}$ , 并将实验数据填入表 15-1 中, 计算出各个输入功率下的增益值  $G$ , 绘制出增益曲线。

表 15-1:

编号	输入功率 $P_{in}$ (dBm)	输出功率 $P_{out}$ (dBm)	噪声功率 $P_{ASE}$ (dBm)	增益 $G$ (dB)	噪声系数 $NF$ (dB)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

2. 输出饱和功率、能够判别线性工作区和饱和工作区: 在本实验中饱和输出功率通过作图法得到, 在 1 中测得的增益曲线示意图如图 15-4 所示, 曲线 a 是 EDFA 的增益曲线, 虚线 b 表示其过 0 点的切线, 其斜率即小信号增

益，虚线 c 的斜率是 b 的一半，所以与曲线 a 的交点 A 所对应的输出功率值即 EDFA 的饱和输出功率。图中竖虚线 d 左侧是 EDFA 的线性工作区，右侧是 EDFA 的饱和工作区。

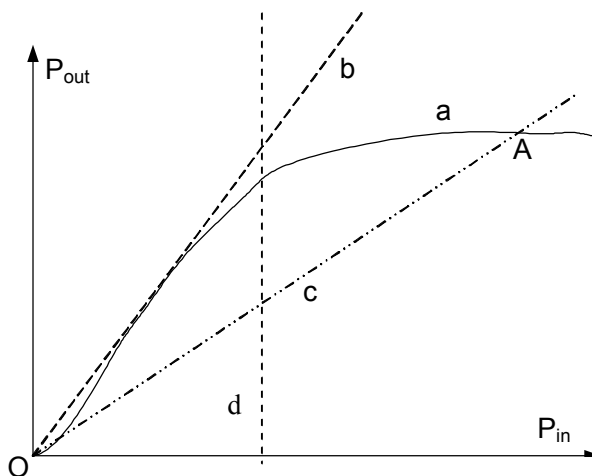


图 15-4 EDFA 增益曲线示意图

3. 绘制噪声系数曲线：根据式计算 EDFA 的噪声系数，并绘制以输入功率为横轴以噪声系数为纵轴的噪声系数曲线。

4. 偏振相关增益变化：重复实验步骤 1 的测量过程，只是测量输入和输出功率时在衰减器和 EDFA 之间加入偏振控制器，测出各种偏振状态下的小信号增益值，并找出其中的最大值  $G_{\max}$  和最小值  $G_{\min}$  代入 (3) 式，计算出偏振相关增益  $\Delta G_p$ 。

