

# 无源元器件鉴定： 滤波器和宽带元器件主要规格

更智能的  
网络  
指日可待

EXFO

# Table of contents

简介.....	3
IL、RL和PDL测量.....	3
基准形式.....	3
无源元器件.....	4
滤波器型元器件.....	4
宽带元器件.....	5
鉴定方法.....	5
光谱分析仪.....	5
可调谐激光光源.....	7
一般考虑因素和源自发辐射影响.....	7
步进式测量.....	7
扫频测量.....	8
EXFO解决方案.....	9
OSA和宽带光源.....	9
激光器——步进式测量.....	9
激光器——扫频测量.....	9

# 简介

今天，我们可以看到各种无源光元器件，无论它们部署在现场、模块或是台式仪表中。以下清单仅仅列出其中的一部分：波分复用（WDM）滤波器、可重构光分插复用器（ROADM）、开关、耦合器和法布里-珀罗波长锁定器。元器件鉴定是制造、质量管理、进厂检验以及元器件生命后期各个环节的一个关键步骤。最符合需要的鉴定方法将取决于需要测量的规格、关注的波长范围以及目标速度、准确度或采样分辨率。

本文将针对两种无源元器件——滤波器和宽带元器件——概述要关注的主要规格。我们还将讨论使用光谱分析仪（OSA）或可调谐激光光源（TLS）进行鉴定的三种常用方法。

## IL、RL和PDL测量

元器件的大多数规格都可以根据插损（IL）、回损（RL）或偏振相关损耗（PDL）计算出来。插损指经过被测设备（DUT）的光损耗，通常以分贝（dB）为单位进行表示。回损指被元器件反射的光所占的比例，而偏振相关损耗指插损在所有偏振状态下的最大变化值。IL、RL和PDL可以在某个给定波长上测得的单个值，也可以在某个波长范围内测得的值。

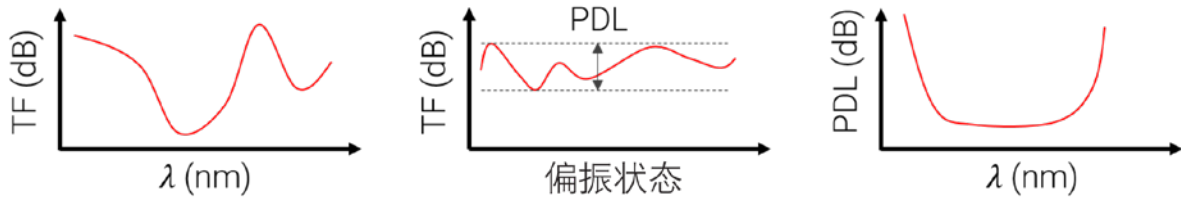


图1：示意图。

- （左）：变化函数测量（IL vs. 波长）。
- （中）：使用全状态方法在某个给定波长上测量PDL。
- （右）：PDL测量 vs. 波长。

## 基准形式

IL和RL测量通常是两步测试流程的一部分，用于消除造成损耗的不利因素并确保结果准确一致。应首先不使用DUT进行基准测量，然后再使用DUT进行测量。接下来，我们使用图2的注解来详述适用于IL测量的一个基本示例。

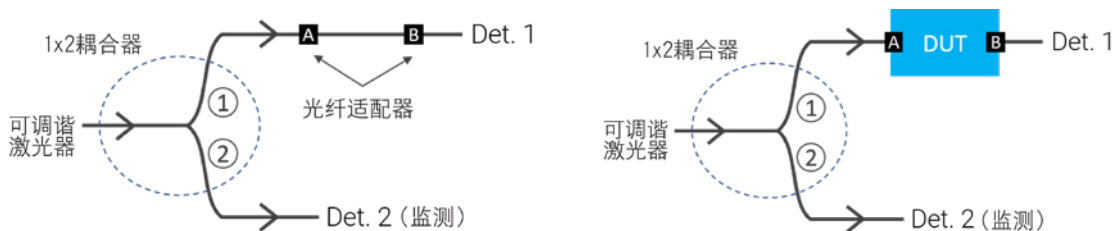


图2：两步测试流程。

- 步骤1（左）：不使用DUT进行基准测量。步骤2（右）：使用DUT进行测量。

$$\text{Measurement with the DUT}_{(dB)} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{\text{Det1}}}{P_{\text{Det2}}} \right) = 10 \log_{10} \left( \frac{TF_1 \cdot TF_A \cdot TF_{\text{DUT}} \cdot TF_B}{TF_2} \right)$$

其中：

$TF_1$ 和 $TF_2$ 是光纤耦合器两端的变化函数。

$TF_A$ 和 $TF_B$ 分别是光纤适配器A和B的变化函数。

$TF_{\text{DUT}}$ 是DUT的变化函数。

除了DUT的变化函数外，我们可以看到计算还包括来自用于连接DUT的耦合器（TF1和TF2）以及光纤适配器（TFA和TFB）的项目。通过基准测量，我们可以消除这些项目的影响。应该注意的是，即使在使用经过校准的耦合器时，基准测量也很有帮助，因为该耦合器的变化函数可能随着时间的变化而变化（如随着温度变化）。监测功率计（Det.2）用于补偿光源在测量期间出现的任何功率波动。

$$\text{Reference}_{(dB)} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{\text{Det1}}}{P_{\text{Det2}}} \right) = 10 \log_{10} \left( \frac{TF_1 \cdot TF_A \cdot TF_{\text{fiber}} \cdot TF_B}{TF_2} \right)$$

其中：

$TF_{\text{fiber}}$ 是所用光纤在测量期间的变化函数。

最后，可根据下列公式计算DUT的变化函数：

$$IL_{\text{DUT}(dB)} = \text{Measurement with DUT}_{(dB)} - \text{Reference}_{(dB)} = 10 \log_{10} \left( \frac{TF_{\text{DUT}}}{TF_{\text{fiber}}} \right)$$

基准测量对于IL和RL测量至关重要。不见得在每次测量前都需要采集基准曲线，而是可以每天采集，或在试验设置或条件出现变化后采集。采用全状态方法进行的PDL测量使用相对功率变化，不能始终都利用先前的基准测量结果。

## 无源元器件

### 滤波器型元器件

无论它们是宽带元器件，如CWDM（解）复用器，还是单/双频段DWDM，滤波器型DUT经常有多个通道，需要为这些通道测量下面的特性：

- 这个波长处的峰值波长和IL
- 波长偏移 vs. ITU栅格
- -1 dB、-3 dB和-20 dB宽度
- 相邻与非相邻的隔离度
- 平坦度和波纹
- PDL
- -3 dB和-20 dB之间的边缘斜率

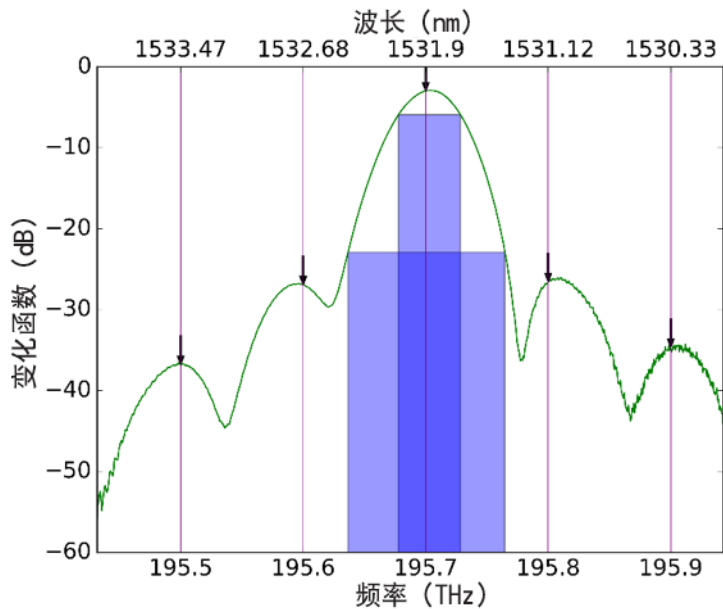


图3: 鉴定100 GHz DWDM解复用器的第57个通道。垂直线代表100 GHz ITU栅格。黑色箭头代表关注的点。蓝色矩形表示的是-3 dB和-20 dB窗口。

峰值波长	1531.865 nm
峰值波长处的IL	-2.91 dB
波长偏移 vs. 栅格	-0.033 nm
波长栅格处的IL	-2.97 dB
-1 dB处的宽度	0.226 nm
-3 dB处的宽度	0.396 nm
-20 dB处的宽度	1.002 nm
相邻通道	
最小隔离度	26.54 dB
最大隔离度	26.91 dB
非相邻通道	
最小隔离度	34.65 dB
最大隔离度	36.76 dB

## 宽带元器件

动态范围较小的元器件（即变化函数的变动较小）包括其它耦合器、开关和衰减器。这些元器件工作的波长范围通常较宽，有时可从0频段到L电信频段。关注的参数可能包括：

- IL和IL平坦度
- 变化函数的波纹
- PDL和回损

接下来，我们将概述鉴定无源元器件的三种不同方法。我们将探讨它们的主要优势和不足之处，并将其与先前所述要求联系起来。

## 鉴定方法

### 光谱分析仪

超辐射发光二极管（SLED）和ASE光源都是宽带光源，它们可结合OSA使用以测量IL。虽然这种方法比较迅速，但由于光源的功率谱密度较低，造成动态范围比较有限，这很容易会成为不足之处，尤其是在远离光源的中心波长时。

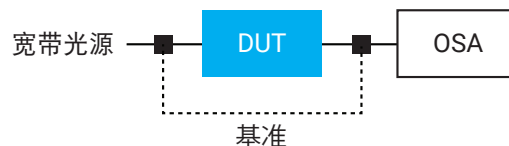


图4: 使用宽带光源和OSA进行IL测量的典型配置。

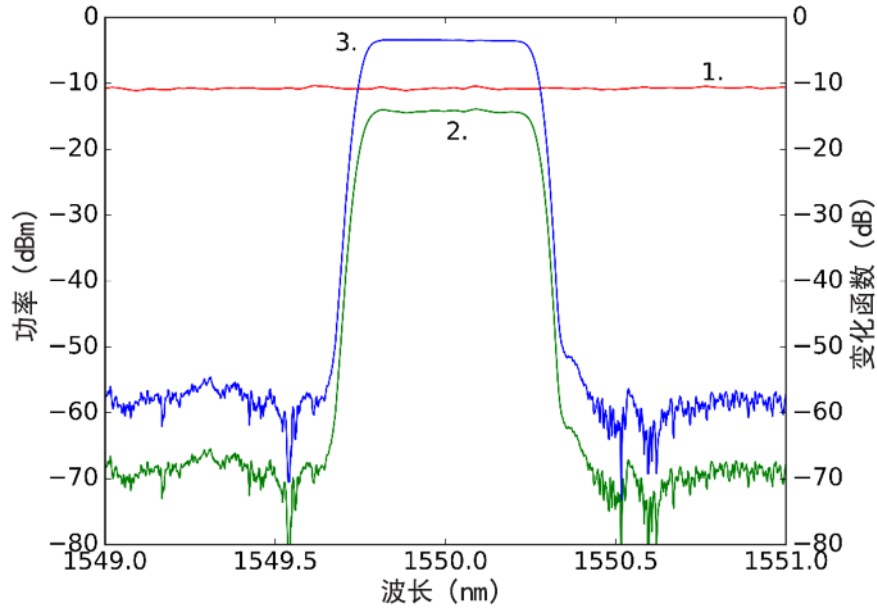


图5：使用宽带光源和OSA鉴定滤波器。  
无DUT时的基准曲线（红色的曲线1，左标度）、有DUT时的曲线（绿色的曲线2，左标度）和变化函数（蓝色的曲线3，右标度）。

此外，OSA测得的功率与通过OSA单色仪所看到的功率谱相对应。在DUT的带宽接近OSA的带宽，或DUT的斜率接近单色仪的斜率时，不能忽视单色仪所导致的信号失真（见图6）。在测量滤波器型元器件时，这些限制尤其重要。

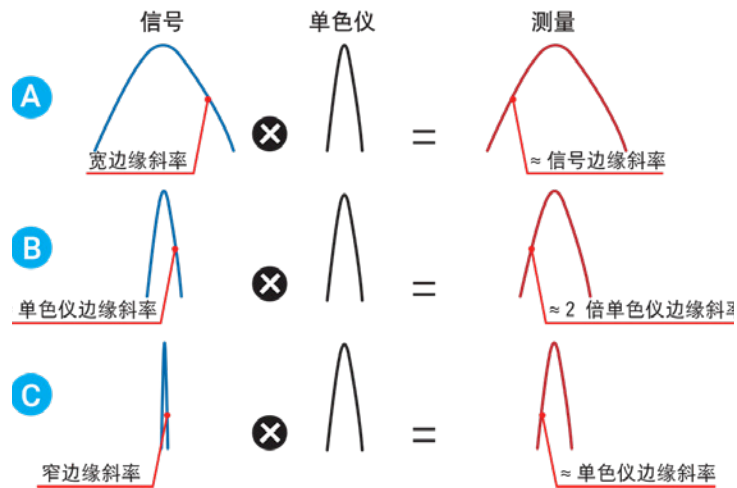


图6：信号和单色仪形状卷积示意图。

此外，在使用OSA时，很难实时地监测光源功率，因此必须注意避免在基准测量和使用DUT进行测量的结果之间出现任何功率漂移。

总之，这种方法特别适合于对插损和动态范围相对较低的单输出元器件进行插损测量。利用OSA的宽波长范围，我们可以轻松地将多个宽带光源结合起来，实现经济高效的宽带解决方案，提供高分辨率和快速的测量。

## 可调谐激光光源

### 一般考虑因素和源自发辐射影响

单模（单波长）性质以及可实现高分辨率都是非常关键的特性，使可调谐激光器成为鉴定元器件不可或缺的工具。然而，有各种各样的可调谐激光器，它们的规格要求差异很大。

由于具备宽调谐范围（最高可达200 nm）、高分辨率和快速调谐的速度，因此外腔激光器（ECL）被广泛应用于测试和测量应用。另一方面，可使用调谐范围通常为2 nm的分布式反馈（DFB）激光器来进行单波长测量。这些激光器更加经济高效，但无法提供外腔激光器的多功能性与调谐范围，因此不足以进行波长相关测量。

还应该考虑所有可调谐激光器的有源介质（激光二极管）内出现的源自发辐射（SSE）。SSE会造成宽带光辐射，与激光器叠加起来。对于滤波器型元器件（如光纤布拉格光栅或复用器），这部分宽带光噪声会通过DUT的带通部分，被功率计检测出来。下图显示的是这种情况如何人为地增加测得的变化函数。

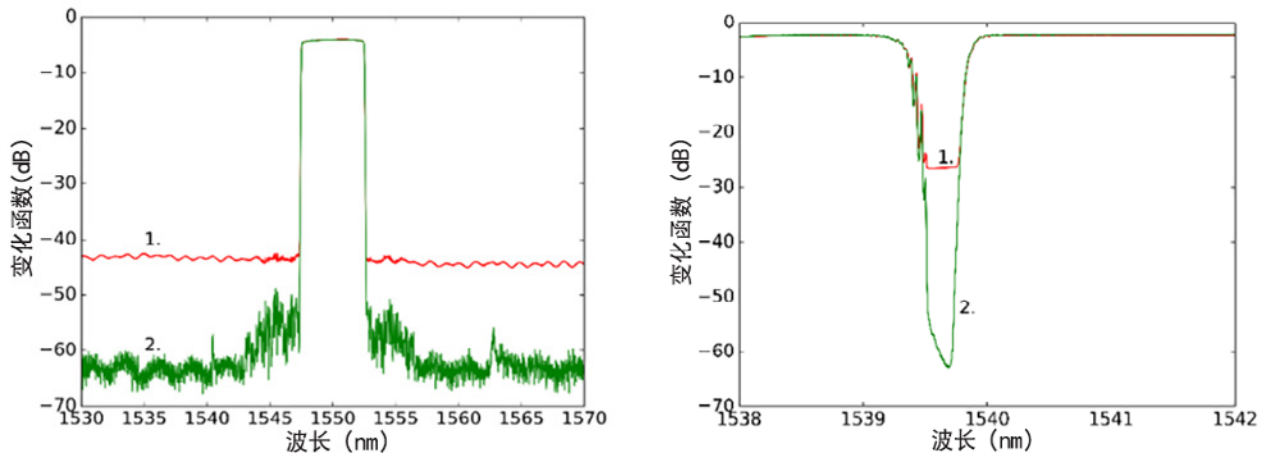


图7：使用高SSE激光器和低SSE激光器鉴定可调谐滤波器（左）和光纤布拉格光栅（右）的结果（分别为红色曲线1和绿色曲线2）。

低SSE激光器采用经过改进的外腔设计来消除这种宽带辐射，从而进行高动态范围测量。激光器信号与SSE之间的比在技术资料中通常被称为信号对源自发辐射噪声比（SSSER）。在测量滤波器型元器件时，较高的SSSER可提供更高的动态范围。

### 步进式测量

使用可调谐激光器进行步进式测量比较简单、用途广且成本相对较低，因此成为普遍采用的方法。由于使用功率计而不是OSA，使得检测器的数量可以扩展，从而能够同时鉴定元器件的多个通道。

步进式测量方法在可以进行的测量方面提供很高的灵活性：IL和RL通常使用图8所示的设置进行鉴定，而PDL可使用偏振扰偏器和全状态方法测量（见图9）。在完成所有的目标测量后，通过远程方式将激光器的波长调谐到下一个关注的波长。为提高测量精度，还可以在测试设置上增加其它设备，如波长计。



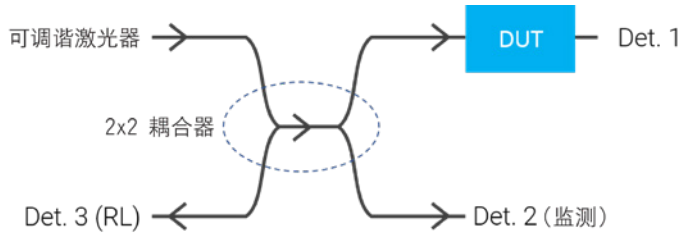


图8: 典型的IL和RL测量设置。

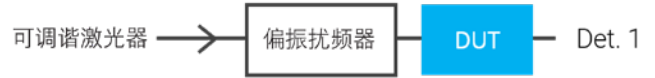


图9: 使用偏振扰频器和全状态方法进行步进式PDL测量。

波长分辨率的选择需要在精准测量元器件的目标特征和维持合理的测量时间之间加以权衡。经常可以使用步进式方法来鉴定CWDM和宽带元器件，因为波长分辨率通常大于100 pm。

然而，在需要更高的分辨率或更宽的波长范围时，步进式方法会变得极其费时。在这些情况下，扫频测量会更加合适。

## 扫频测量

在扫频测量期间，激光器在整个波长范围内连续移动，触发系统会触发一个或多个外部仪表，通常为功率计。由于激光器不会在进行测量的每个波长上停下来，因此与步进式测量相比，测量速度会大幅提高。以皮米级分辨率，在100 nm范围内进行测量，通常需要几秒钟的时间便可完成。在这些设置中，采样分辨率和波长精度取决于触发系统，无论其是否集成了激光器或外部系统。

一方面，IL和RL测量设置与步进式测量设置没有什么不同，可使用图7所示的设置进行测量。

另一方面，PDL测量需要特别注意，并使用一种不同的方法来确定PDL。扫频PDL测量需要偏振控制器，使用不同的已知偏振状态（通常为4个或6个状态）进行连续扫描。然后，可使用米勒微积分来计算PDL。

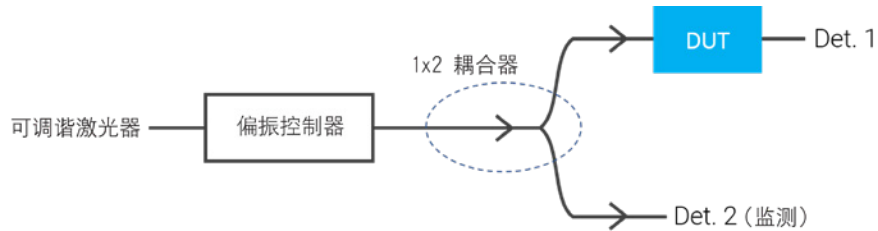


图10: 使用偏振控制器进行的典型扫频PDL测量。

扫频测量的一个关键方面是与步进式测量相比，对激光器和功率计的要求更加严格。可调谐激光器必须能够进行无跳模扫描（没有波长不连续性），而检测器必须能够在短积分时间和高动态范围内缓冲大量的数据点。

DWDM元器件通常需要皮米级分辨率，并实现扫频测量的优势。可在几秒钟的时间里，进行分辨率高、精准的测量，从而满足制造环节中的高吞吐量要求。



# EXFO解决方案

## OSA和宽带光源

EXFO光谱分析仪系列产品包括FTBx-5245/5255和OSA20。它们可以和FTBx-2250宽带光源结合起来，使用专用的分析工具来进行透射比测量。



## 激光器——步进式测量

T100激光器模块是一款紧凑、可快速调谐且经济高效的解决方案，适用于步进式测量。它们可安装在OSICS平台内，采用低SSE（高SSSER）腔设计。

全频段激光器（FBL）集成了四个T100模块和一个开关，从而在一台19英寸大小的仪表内涵盖从1260 nm至1680 nm的整个波长范围。LTB-8平台和FTBx-1750功率计可用来设置完整的测试系统。



## 激光器——扫频测量

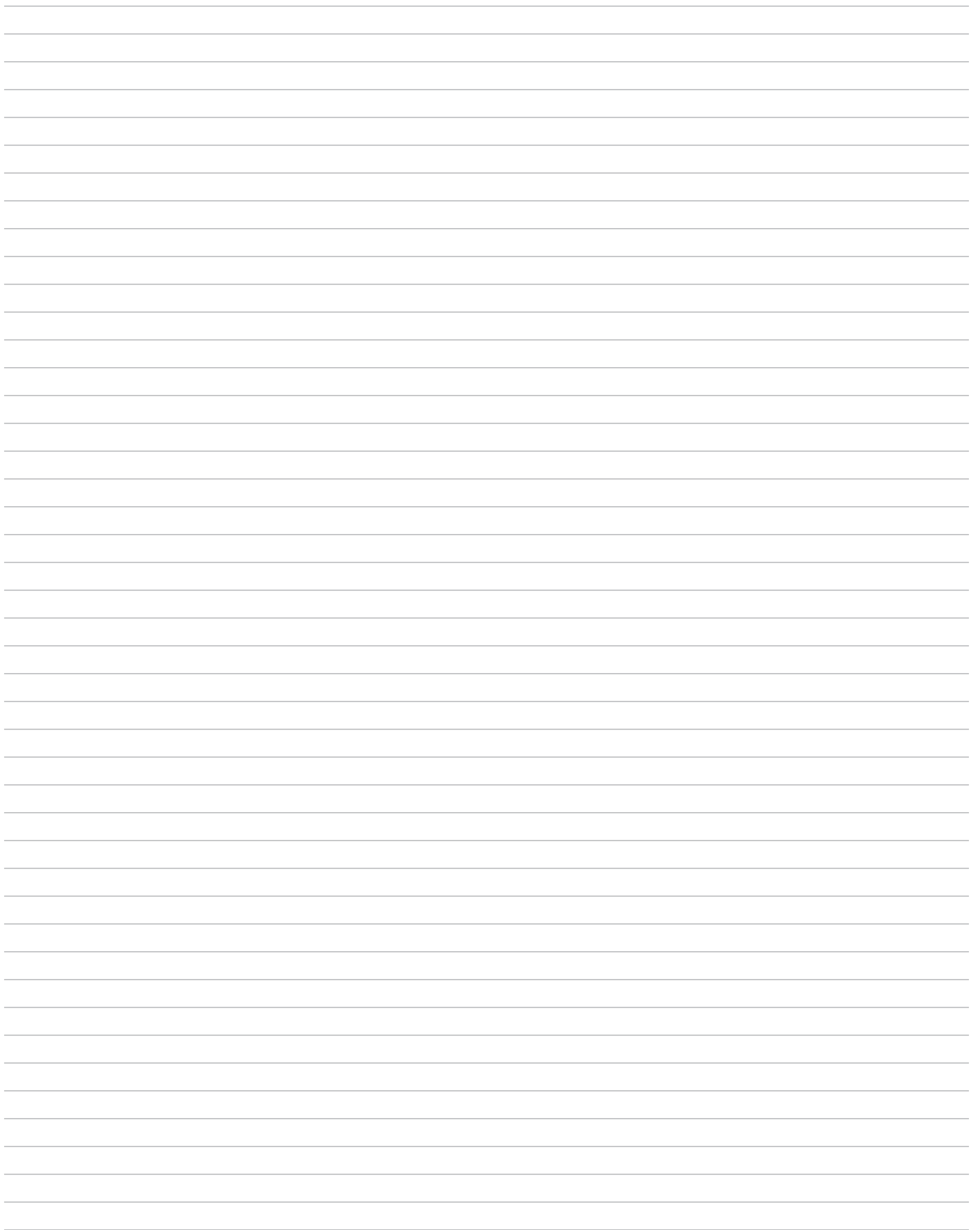
可使用CT440元器件测试仪或CTP10平台来进行扫频IL-RL测量。这两款解决方案都依赖T100S-HP激光器并使用光学触发，在以任何速度进行测量时都可以获得较高的采样分辨率和精度。此外，还可以将多个可调谐激光器结合起来，进一步增加波长范围。

CTP10平台最多可容纳60个功率计，特别适用于高端口数元器件。

可使用CT440-PDL或CTP10平台结合外部偏振控制器来进行扫频PDL测量。







# 销售和客户服务

## EXFO公司总部

400 Godin Avenue  
Quebec City, Quebec G1M 2K2 CANADA  
电话: +1 418 683-0211  
免费电话: +1 800 663-3936 (美国和加拿大)  
传真: +1 418 683-2170

## EXFO美洲

3400 Waterview Parkway, Suite 100  
Richardson, TX 75080 USA  
电话: +1 972 761-9271  
免费电话: +1 800 663-3936 (美国和加拿大)  
传真: +1 972 761-9067

## EXFO欧洲

Winchester House  
School Lane, Chandlers Ford, SO53 4DG UK  
电话: +44 2380 246 800  
免费电话: +800 22 55 39 36 (从大多数欧洲国家拨打+800)  
销售: +44 2380 246 810  
传真: +44 2380 246 801

## 新加坡爱斯福亚太有限公司

62 Ubi Road 1, #09-01/02  
Oxley Biz Hub 2, SINGAPORE 408 734  
电话: +65 6333 8241  
传真: +65 6333 8242

更智能的  
网络  
指日可待

The logo for EXFO, featuring the letters 'EXFO' in a bold, blue, sans-serif font. The 'O' is stylized with horizontal lines through it.