

EQE510测量系统用户手册-V1.2

导读：

第一章给出系统组件名称和实物图，方便用户快速识别组件。

第二章给出基本测量原理，帮助用户理解每个测量步骤对应的相关物理量，做到知其然知其所以然。[急于做实验的用户可略过本章](#)。强烈推荐在读硕士或博士研究生学习理解本章。本章始终强化一个概念，所有的光学物理量都是由[光功率分布图](#)计算得出。

第三章介绍硬件安装和辐射定标步骤，其中辐射定标章节是重点，教程比较细致，需要每个用户能够熟练操作。本章内容通常操作一次即可。

第四章介绍EQE测试步骤，包括硬件连接与参数设置，主要测量电压、电流密度、亮度和EQE等曲线和数据。

一、认识系统组件

用户在首次使用系统之前，可以先认识下整个系统中用到的组件，分辨出手册中涉及的组件名称和对应的实物。组件可以分为四个主要部分：光谱仪、积分球探针台、辐射定标光源和源表。图1和图2标注了每个组件的实物图 and 对应名称，表1给出每个组件的名称和用途。



图1 EQE510测量系统组件实物图 and 对应名称



图2 积分球和配件

表1 EQE510系统组件名称和用途

名称	用途描述
光纤光谱仪	实时采集光谱图
光纤	连接光谱仪和积分球
辐射定标光源	用于辐射定标，把光谱仪测得的相对光谱曲线转为光功率分布曲线
探针台	控制点亮指定编号LED
积分球主体	接收光源发出的辐射光
样品槽	放置样品
样品盖板	把样品槽漏光部分反射回积分球，减小漏光带来的误差
辐射定标盖板	放置辐射定标光源

源表	电压或电流源，同时实时读取电压和电流值
BNC电源线	连接源表和探针台
USB转RS232通讯线	连接探针台和电脑（若是Keithley2400源表，该通讯线也可用于连接源表和电脑）

二、理解测量原理

2.1 辐射定标原理

辐射定标是为了把光谱仪测量得到的相对强度值转换为绝对光功率分布值。该步骤尤其重要，但在光路不变的条件下，通常完成一次辐射定标步骤即可。

辐射定标光源的灯文件给出某个波长对应的功率值 I_0 ，光谱仪在给定积分时间上 t_0 ，测得相对光强度值为 S_0 ，由于积分时间和相对光强成正比关系，则有单位积分时间内的相对光强度为 S_0/t_0 ，其对应的光功率值为 I_0 。

设单位积分时间内的单位相对光强值为 f ，则有

$$I_0 = f * \frac{S_0}{t_0}, \text{ 即有 } f = \frac{I_0}{S_0} * t_0$$

其中 f 定义为辐射定标系数，是指单位积分时间内的单位相对光强值对应的光功率值，即积分时间为1s时，每个counts对应的功率值。只要测量系统固定，则辐射定标系数 f 为一个常数。

有了定标系数，对于任意量程范围内的光源，只需要知道积分时间 t ，测出相对光谱强度值 S ，则对应的光功率值为

$$I = f * \frac{S}{t}$$

以上公式对于光谱仪测得的任一波长均适用，把波长参数 λ 代入，则可以总结为

(公式1)

$$f(\lambda) = \frac{I_0(\lambda)}{S_0(\lambda)} * t_0$$

(公式2)

$$I(\lambda) = f(\lambda) * \frac{S(\lambda)}{t}$$

公式（1）中的 $f(\lambda)$ 为辐射校准系数，辐射定标操作是目的是得到的辐射定标系数文件，其物理意义是每个波长在单位积分时间内的单位count值对应的光功率值。

公式（2）中的 $I(\lambda)$ 待测的光功率，设置好积分时间后，光谱仪实时测得的相对光谱图带入公式即可得到实时的光功率分布图。[在EQE测量中涉及到的光学物理量，均由光功率分布图导出。](#)请记住这句话，在测量光学物理量的过程中，脑子里始终强化一个概念，一切源自于光功率分布曲线。

2.2 光子数

EQE（External Quantum Efficiency, 外量子效率）是指LED平面内发出的光子数与注入电子数的比值，其中光子数由光功率计算得出，计算过程如下：

对某个波长 λ 而言，测得其对应的单波长光功率为 $I(\lambda)$ ，则每个光子的能量为

$$E(\lambda) = \frac{h * c}{\lambda}$$

则对应的光子数为

$$N(\lambda) = \frac{I(\lambda) * t}{h * c} * \lambda, \text{ 其中 } h \text{ 为普朗克常数, } c \text{ 为光速, } t \text{ 为观测时间}$$

由于测量是在相同观测时间进行，在计算量子产率时， t 会被约分消除，为方便计算，设 $t=1$ ，则有

$$(公式3) \quad N(\lambda) = \frac{I(\lambda)}{h * c} * \lambda$$

其物理意义是该光源在1s时间内，波长 λ 发射出的光子数。

2.3 亮度

LED主要在可见光范围内测量光学参数，CIE（International Commission on illumination，国际照明委员会）根据人眼视觉反应定义了光度量参数，其中亮度是用来LED发光效果的重要光度量之一。

对于单面发光的朗伯辐射体的某个波长，光通量为：

$$\Phi(\lambda) = 683 \times I(\lambda) \times K(\lambda) = \pi \times L(\lambda) \times S$$

该波长的光亮度为

$$(公式4) \quad L(\lambda) = \frac{683 \times I(\lambda) \times K(\lambda)}{\pi \times S}$$

则总光亮度是可见光波段（380-780nm）的积分值，即

$$(公式5) \quad L_t = \int_{380}^{780} L(\lambda) d\lambda = \frac{683}{\pi \times S} \times \int_{380}^{780} I(\lambda) \times K(\lambda) d\lambda$$

其中

$I(\lambda)$ 是该波长在公式2中测得的光功率；

$K(\lambda)$ 是CIE规定的视觉函数，可查表得到。

S 是器件面积。

由公式4和公式5可知，要想测得单波长的亮度和总亮度，还是只需要测得可见光范围内的光功率分布图即可。

2.4 色品坐标（软件无该功能）

色品坐标是CIE定义的一种描述颜色位置的规范，LED测量中最常用的是CIE1931色品坐标系，同时定义了标准色度观察者光谱三刺激值，简称CIE1931标准色度观察者，记为 $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ ，其中 $\bar{y}(\lambda)$ 与视觉函数 $K(\lambda)$ 一致。

设某颜色进入人眼的相对光功率分布为 $I(\lambda)$ ，则对应的颜色三刺激值为

$$X = k \sum_{\lambda} I(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta \lambda$$

$$Y = k \sum_{\lambda} I(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta \lambda$$

$$Z = k \sum_{\lambda} I(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta \lambda$$

$$k = 100 / \sum_{\lambda} \Phi(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta \lambda$$

其中 Y 表示明度， k 是归一化系数，在计算色品坐标时将被约分消除。

色品坐标为

$$(公式6) \quad x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$(公式7) \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

其中 (x, y) 用于表达色坐标，在CIE1931色坐标系中呈现为马蹄形。

在颜色三刺激值的计算中，我们发现除了光功率是测得量，其他都是查表获取。因此要得到色品坐标，归根结底还是测光功率分布图。

三、硬件安装和辐射定标

3.1 硬件安装

硬件安装简单概括为源表、探针台、积分球和光谱仪之间的通讯和光纤连接。操作步骤如下：

1. 连接源表和探针台

- 1) 给源表和探针台的供电，源表用配套电源线直接插入插板即可，探针台用配套的绿联品牌12V/2A电源适配器供电。
- 2) 用BNC电源线连接源表和探针台。BNC母头接入探针台的BNC公头（图3左）。对于共阳极样品，香蕉电源头带耳朵的部分接电源负极（图3中），插入源表的电源孔（图3右）。对于共阴极样品，反接插入即可。默认是共阳极，只需要记住带耳朵的香蕉头是探针台独立控制即可。
- 3) 用USB转232通讯线连接探针台和电脑USB接口（图4左）。如果源表是Keithley2450，用USB线连接源表背；如果源表是Keithley2400，则需要用USB转232通讯线连接源表背面的RS232接口到电脑。

2. 连接光谱仪和积分球

- 4) 把积分球放在探针台底座中，光纤一端插入积分球SMA905接口（图4左），光纤另一端接入光纤光谱仪SMA905接口（图4右）。积分球摆正后，拉下探针手柄，探针将刚好落入样品盖板孔位。

5) 光纤光谱仪接入配套电源（图4右），上电后可听到风扇转动响声。

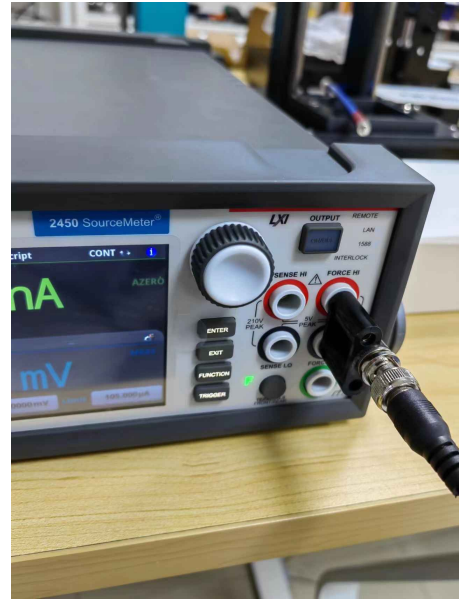
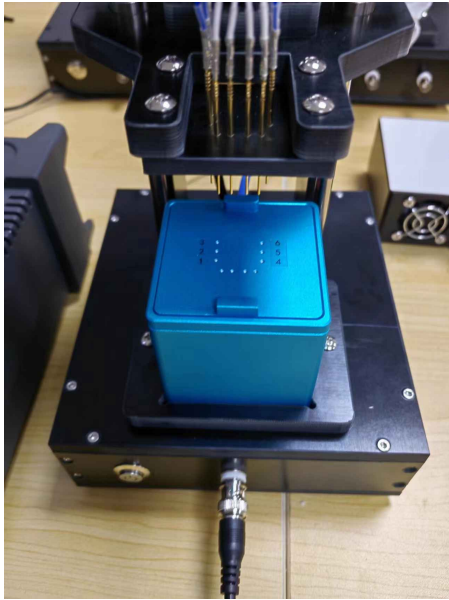


图3 探针台和源表连接

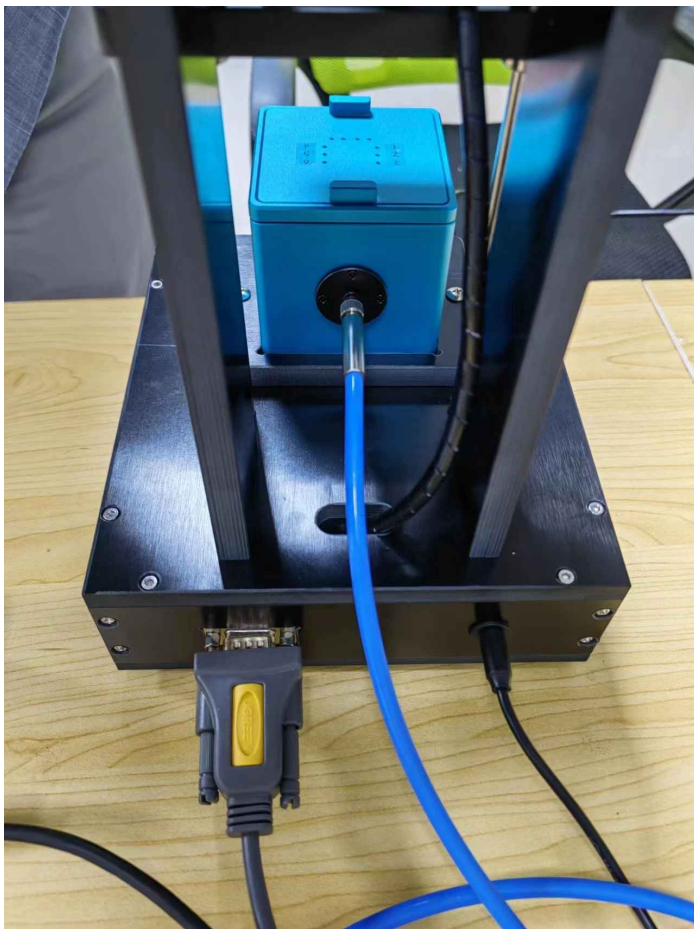


图4 积分球和光谱仪的光纤连接

3.2 辐射定标

辐射定标步骤非常重要，光纤光谱仪只能测出相对光谱分布图，不同品牌型号，或相同型号配置不同，得到的光谱曲线都不一样。辐射定标的作用是把相对光谱分布图转为绝对光功率分布图，才可以计算出相关光学物理量。不同光谱仪测出不同相对光谱分布图，经辐射定标后，就可以得到相同的光功率分布图。

本教程对辐射定标章节讲解比较细致，用户熟悉后，光源预热好的情况下，实际上不到2分钟即可完成操作。

在辐射定标前，先打开ElectronView软件，在左下角点开【仪表参数】（图5标记1），顶部菜单栏点击【辐射定标】（图5标记3），进入辐射定标界面，点击顶部菜单栏左侧【开始】按钮，使光谱仪实时读取光谱图。

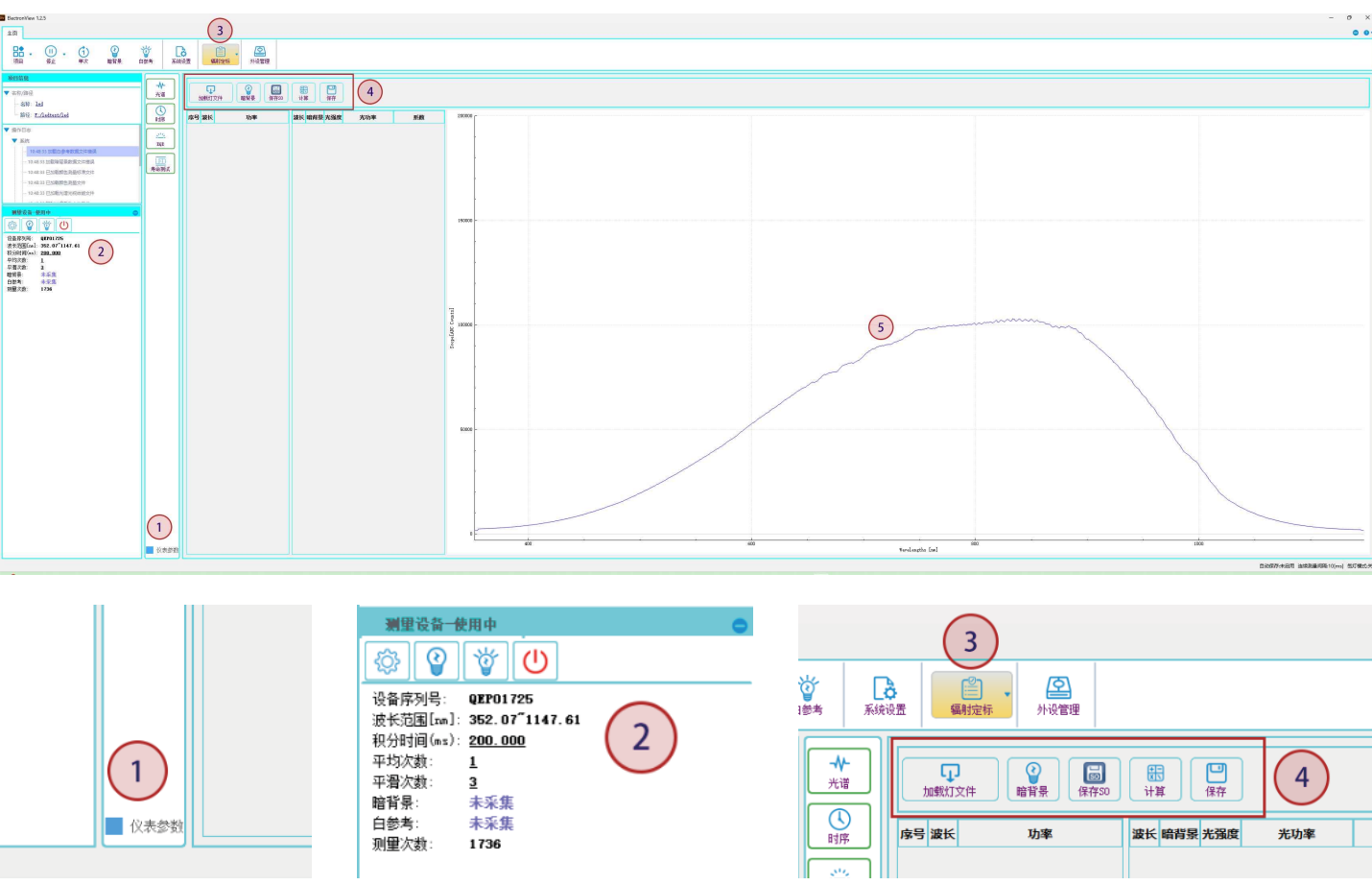


图5 辐射定标软件界面

辐射定标操作步骤如下：

1) 放置辐射定标盖板。首次使用时，若有封口贴纸（图6左），需撕掉后，再盖上辐射定标盖板（图6右）。建议在把积分球从探针台固定槽取出后，用一个纸盒或其他把积分球踮起，避免光纤受力拉扯积分球。

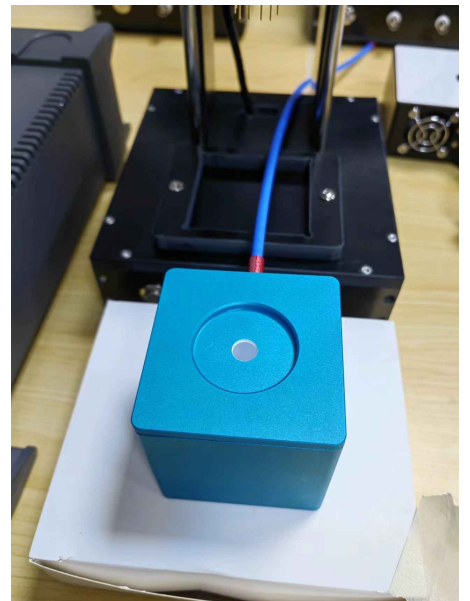
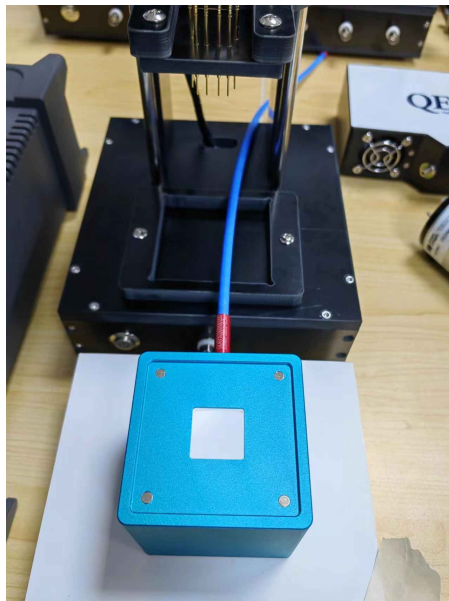
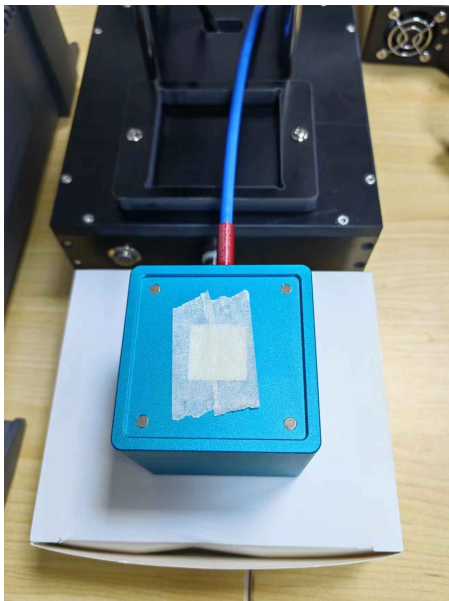


图6 放置辐射定标盖板

2) 预热光源并放置到辐射定标盖板。把辐射定标光源的Power拨动到ON位置（图7左），打开辐射定标光源，预热5分钟后，再放置辐射定标光源到辐射定标盖板（图7右）。

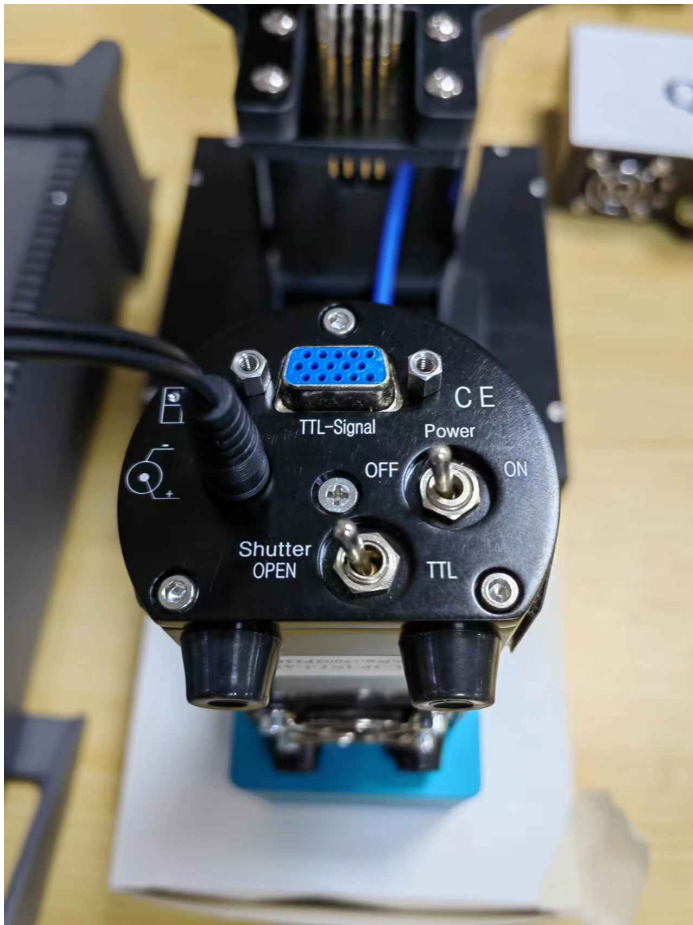


图7 辐射定标光源

3) 设置光谱仪测量参数。调整光谱仪积分时间，使得光谱值在10万附近（图5标记5），再设置适当的平均次数（推荐为1）和平滑次数（推荐为3）。其中积分时间是公式1中的 t_0 。

4) 加载灯文件。把辐射定标光源配套的灯文件准备好（需转为txt格式），点击【加载灯文件】按钮，在弹出对话框中选择已经备好的txt格式灯文件。此时获取的灯文件数据是公式1中的 I_0 。

5) 存储暗背景。把辐射定标光源的Shutter开关拨动到中间，内部挡片挡住光源，此时光谱曲线几乎为0。点击【暗背景】按钮，存储暗背景。

6) 存储辐射定标光源相对光谱值。把辐射定标光源的Shutter开关波动到左侧OPEN位置，此时可以看到光谱曲线。点击【保存S0按钮】，此时读取的是当前相对光谱值减去暗背景，即公式1中的 S_0 。

7) 点击【计算】按钮，此时会花一些时间做系数计算，速度依电脑配置而定，一般在3秒内完成，计算完成后左上角有相应文字提示。

8) 保存辐射定标系数。计算完成后，点击【保存】按钮，辐射定标系数将会保存在软件安装目录的config文件中。

简而言之，用户在设置好光谱仪测量参数后，依次点击辐射定标界面的5个按钮即可完成辐射定标步骤。用户下次打开软件时会自动加载辐射定标系数文件，不需要再做辐射定标。

若用户存在拆卸光路的情况，比如更换积分球或光纤，或者把光谱仪拆卸后用到别处，再次搭建光路时则需要重新做辐射定标。

四、EQE测量软件操作

4.1 测量界面

在EQE测量中，可以先关闭仪表参数区域，使界面显示更全面。点击左侧【EQE】应用功能，进入EQE测量界面，可通过【曲线】和【设置及结果】选项卡进行切换，分别观察曲线和表格值。（图10左）

在曲线界面，实时测试的曲线包括：

- 实时数据曲线。最左侧曲线显示的是光谱仪原始光谱值或光功率，可以在左上角勾选。
- 电流密度VS电压曲线。实时读取源表的电压和电流，电流密度是电流与LED发光面积的比值，单位转换为mA/cm²。
- 光亮度VS电流密度。亮度对应的波长范围是380-780nm，因此在设置LED测量参数时（图10右），起始波长和终止波长推荐设置成380和780nm。
- 辐出射度VS电流密度。辐出射度与光亮度之间的关系为

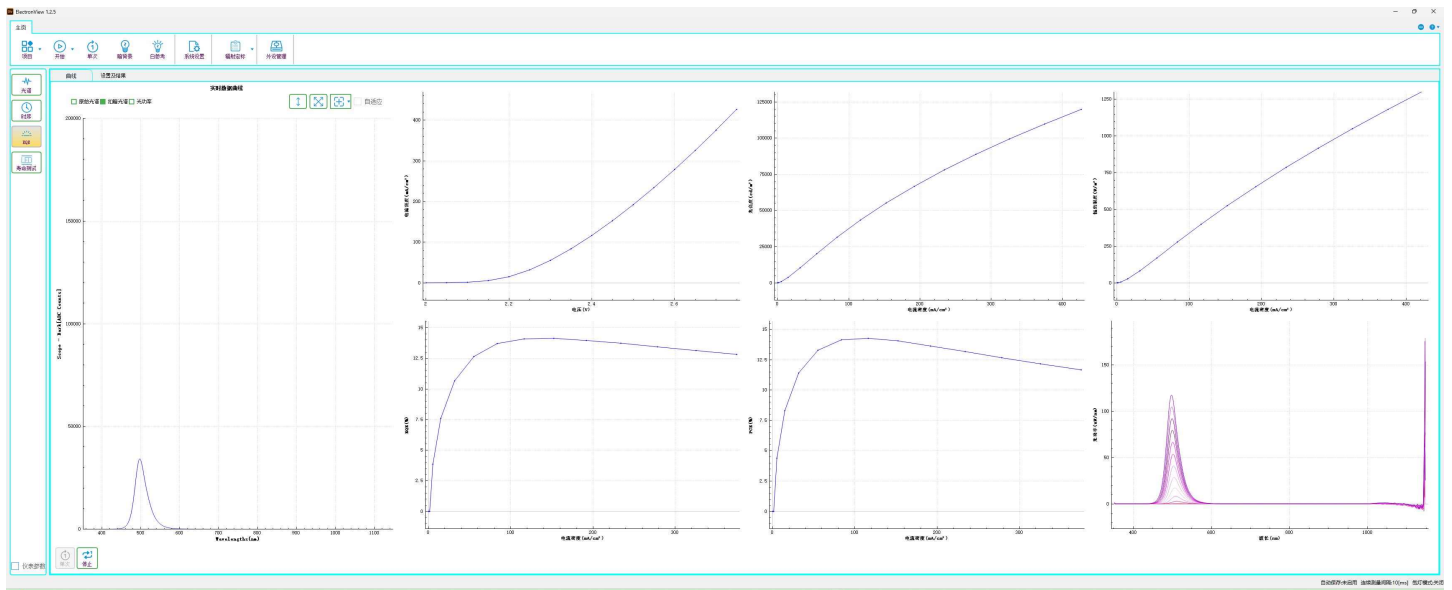


图8 EQE测量界面

4.2 测量步骤

测量步骤如下：

1) 软件连接源表和探针台

打开Windows设备管理器，找到探针台对应的串口编号（图9左），在串口设置中端口选择对应串口号，点击【打开】按钮（图9右）。若用户使用的源表是Keithley2400，则也需要用RS232串口通信，设备管理器会存在两个串口号，用户若无法分辨，可拔插通讯线观察消失的串口号来做识别。

在源表型号中选择使用的型号，如Keithley的2400或2450，若是2400，需选择对应串口号后点击【打开】按钮即可；若是2450，输入资源字符串中的序列号（源表背面的条形码贴纸上有序列号），再点击【打开】按钮（图9右）。打开成功后，“未发现源表”字样会变成源表型号和序列号字样。



图9 外设管理

2) 设置LED测量参数

点击左侧【EQE】应用功能，进入EQE测量界面，切换到【设置及结果】选项卡，设置测量参数。
(图10左)



图10 EQE测试参数设置

在【设置及结果】选项卡界面，填入如下参数 (图10右)：

表2 LED测量参数及描述

参数名称	描述
通电面积	LED发光面积，即阴极和阳极的交叉面积
稳定时长	每个步进电压值的维持时长，该时长必须大于光谱仪积分时间*平均次数
起始电压	源表供电的起始电压
终止电压	源表供电的截止电压
步进电压	源表每次供电的间隔电压
当前电压	用于测量过程中指示当前供电电压
起始波长	光谱仪计算亮度和光子数的起始波长，默认取值380nm
终止波长	光谱仪计算亮度和光子数的截止波长，默认取值780nm
探针位置	被测LED的编号，每次仅能点亮一个LED

3) 放置样品

放置样品槽盖板后，再放置样品到样品槽中，最后盖上样品盖板，压下手柄。探针顶端有一定弹性，依靠手柄重力可接触良好，无需持续按压。

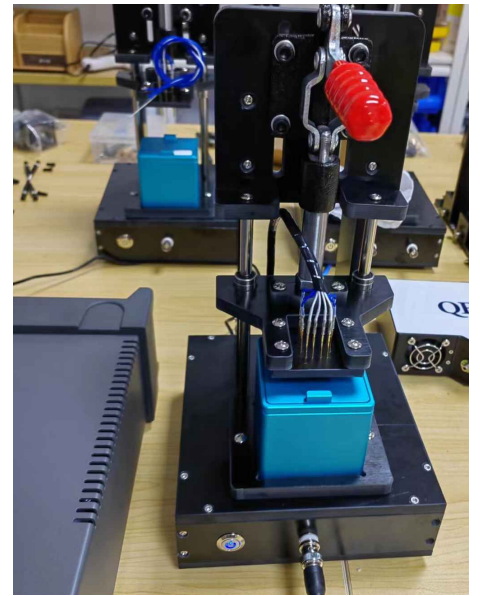
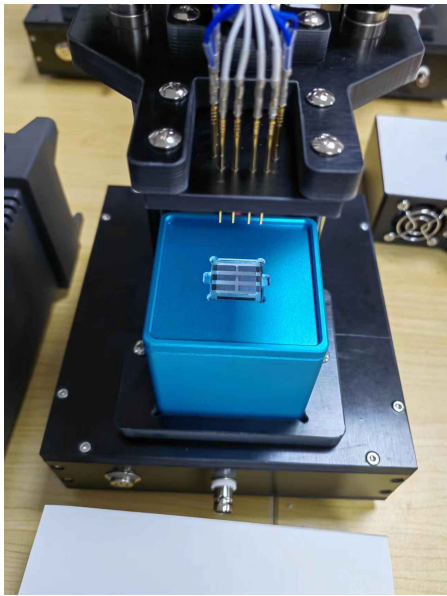


图11 放置LED样品

4) 连续测量

设置完LED测量参数后，在EQE界面左下角点击【连续】按钮（图12），源表按照设置的电压参数（图10右），按步长依次递增，进行测试。其中【单次】测量按钮是每次按照一个步长增加，按需使用。

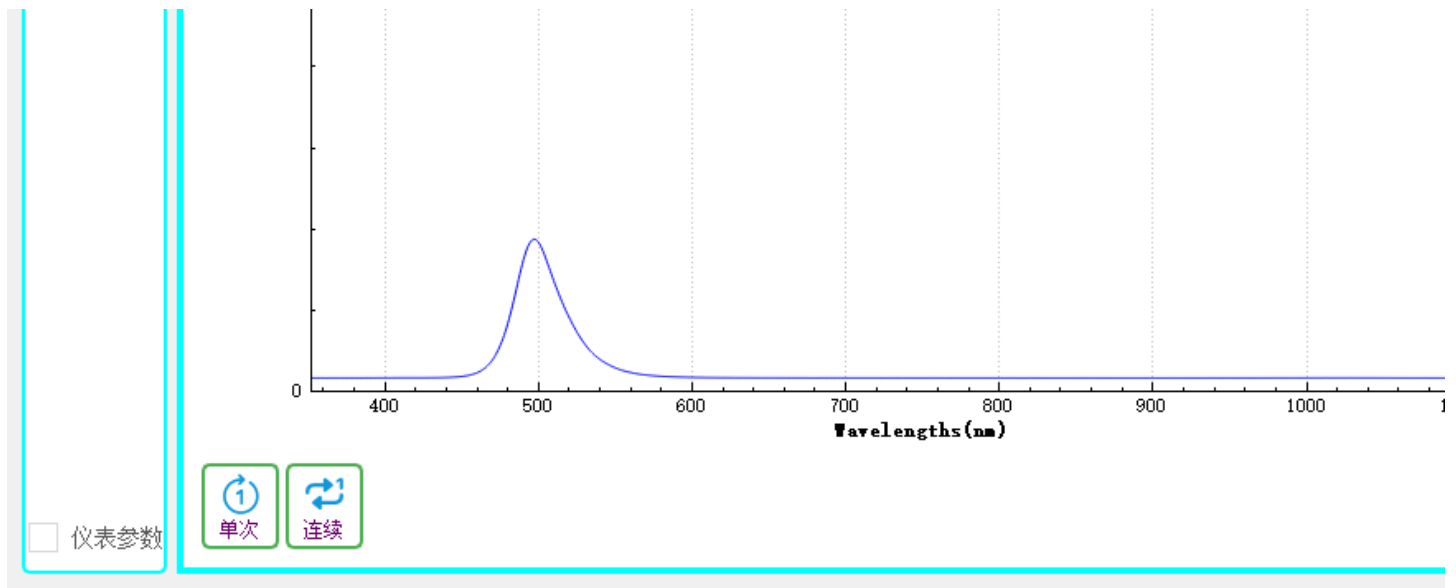


图12 单次和连续测量

用户可通过点击选项卡【曲线】和【设置及结果】进行曲线和表格切换查看实时测量过程。（图13和图14）

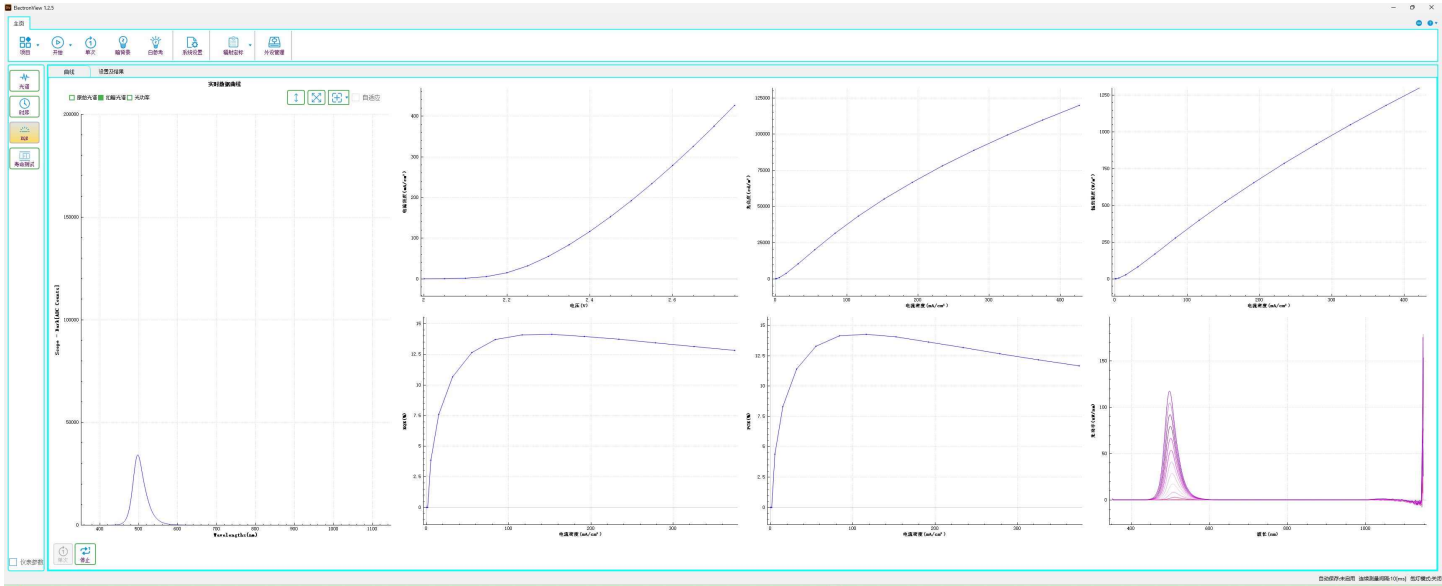


图13 EQE测量曲线

Wavelength (nm)	Current (mA)	Power (mW)	EQE (%)	PC (%)	CE (%)	PE (%)	x	y	CWL (nm)
2.00	0.00452424	0.111110000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	526.00
2.05	0.015600200	0.390013000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	533.00
2.10	0.059423600	1.485184200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	539.00
2.15	0.224400200	5.520520000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	547.00
2.20	0.979840000	24.547107000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	556.00
2.25	1.270100000	31.754100000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	564.00
2.30	2.207270000	55.181875000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	572.00
2.35	3.947100000	95.042000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	579.00
2.40	6.633300000	156.242200000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	586.00
2.45	6.096100000	152.474000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	593.00
2.50	7.080700000	182.017000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	600.00
2.55	9.381100000	234.295200000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	607.00
2.60	11.189100000	276.487500000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	614.00
2.65	13.817500000	325.446700000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	621.00
2.70	14.897400000	374.888000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	628.00
2.75	17.053300000	426.134000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	635.00
2.80	18.182000000	479.800700000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	642.00
2.85	21.410000000	555.017000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	649.00
2.90	23.740100000	585.507000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	656.00
2.95	26.123000000	633.088000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	663.00
3.00	28.581500000	714.789700000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	670.00

图14 EQE测量过程表格

五、数据导出

5.1 EQE表格数据

在查看图14的测量过程表格数据时，点击右侧【另存为】按钮，在弹出对话框输入文件名称后，导出表格数据到指定路径。

5.2 EQE光功率数据

在连续测量模式下，按步长递增电压下对应的光功率分布数据，在测量完成后，默认保存到项目路径的data文件中，文件名称为探针编号-时间-Power.csv。表格第一列为波长，按列依次为递增步长电压对应的光功率数据。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.3
	352.072	0.510525	0.394496	0.522128	0.522128	0.429305	0.556936	0.301674	0.406099
	352.872	0.127879	0.101507	0.060995	0.006991	-0.01147	0.093191	-0.03761	0.03864
	353.672	0.112097	0.087219	0.045705	0.001478	0.024734	0.072474	-0.00125	0.03506
	354.472	0.080928	0.062764	0.032827	0.002939	0.019505	0.052068	-0.00014	0.026325
	355.272	0.063879	0.050229	0.026297	0.002839	0.016751	0.040278	0.00104	0.021157
	356.071	0.052872	0.041705	0.022604	0.003311	0.014301	0.033446	0.001417	0.01788
	356.871	0.004288	0.00395	-0.02647	-0.04573	-0.0262	-0.01866	-0.02797	-0.02097
	357.671	-0.00103	-0.00446	-0.0257	-0.03902	-0.02074	-0.02276	-0.02733	-0.02578
0	358.47	0.018088	0.014527	0.007232	0.002868	0.019311	0.009164	0.012898	0.008598
1	359.27	0.002385	0.003187	0.003641	0.004443	0.005772	0.002048	0.003688	0.003821
2	360.069	0.003791	0.004039	0.004569	0.005472	0.006582	0.003588	0.004851	0.004675
3	360.869	0.007224	0.007437	0.007762	0.008046	0.009634	0.006749	0.008148	0.007591
4	361.668	0.008411	0.008637	0.009144	0.008657	0.01017	0.00761	0.008963	0.008855
5	362.467	0.00979	0.009243	0.010249	0.009449	0.01123	0.008582	0.009891	0.009302
6	363.267	0.009168	0.008966	0.009965	0.009581	0.010036	0.008666	0.009403	0.0095
7	364.066	0.010659	0.010662	0.011486	0.010933	0.011114	0.010459	0.010926	0.010581
8	364.865	0.011865	0.012307	0.012489	0.012067	0.012576	0.012162	0.012143	0.012199
9	365.664	0.015982	0.016177	0.016079	0.015964	0.01681	0.015748	0.016493	0.016003
0	366.463	0.01932	0.019312	0.019146	0.018389	0.019573	0.019255	0.019054	0.019407
1	367.262	0.020014	0.019317	0.019495	0.019151	0.019028	0.019363	0.018509	0.019447
2	368.06	0.02002	0.019255	0.019357	0.018929	0.018605	0.019209	0.018845	0.018886
3	368.859	0.022304	0.021882	0.022089	0.021623	0.020894	0.021121	0.0211	0.021615
4	369.658	0.022365	0.021909	0.022251	0.02192	0.02102	0.020951	0.021598	0.021408
5	370.456	0.023806	0.023386	0.024237	0.023602	0.022634	0.022735	0.023245	0.02241

图15 不同电压下光功率数据