

# paios

LED 和太阳能电池的电光性能表征



—  
综合一体

—  
直流, 交流&  
瞬态分析

—  
超过15次不  
同实验

—  
全自动程序

[www.fluxim.com](http://www.fluxim.com)

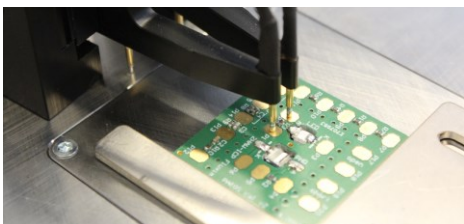


 swiss made software

## 使用 Paios 快速验证您的假设

Paios 只需单击一下，即可对有机、钙钛矿和量子点 LED 和太阳能电池进行各种电学和光学表征。获得一致且精确的测量数据，直接在测量软件中比较您的结果并加速您的研发。

- 电流-电压-亮度
- 瞬态光电流
- 瞬态光电电压
- 瞬态电致发光
- 电荷提取
- 暗注入瞬变
- 线性增加电压
- DLTS (深能级瞬态光谱)
- 阻抗谱
- 电容电压法
- IMPS/IMVS (强度调制光电流谱/强度调制光电电压谱)
- MELS(调制电致发光光谱)
- 发射光谱
- 用户自定义信号



### Paios 研究领域

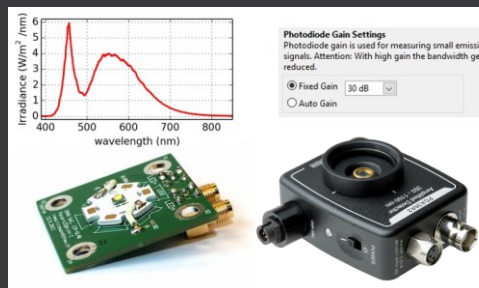
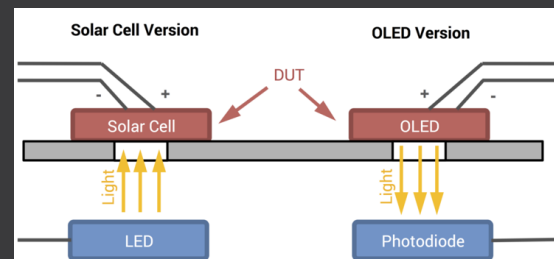
- 钙钛矿太阳能电池
- 有机、量子点和混合太阳能电池
- CIGS、CdTe、CZTS太阳能电池
- 染料敏化太阳能电池
- 固态薄膜电池
- 有机发光二极管 (OLED)
- 钙钛矿 LED 和 QD LED
- 发光电化学电池 (LEC)
- 单极器件
- 金属绝缘体半导体 (MIS) 器件

### 直流，交流&瞬态分析

稳态、频域和时域中光电测量的组合提供了对器件物理的更深入洞察。

## LED & PV 表征

Paios 提供太阳能电池和 LED 版本。多功能组合版本适用于 LED 和光伏设备的研究和开发。



太阳能电池：主要硬件配备了合适的 LED 照明系统。多 LED 板可用于外部量子效率 (EQE) 测量。

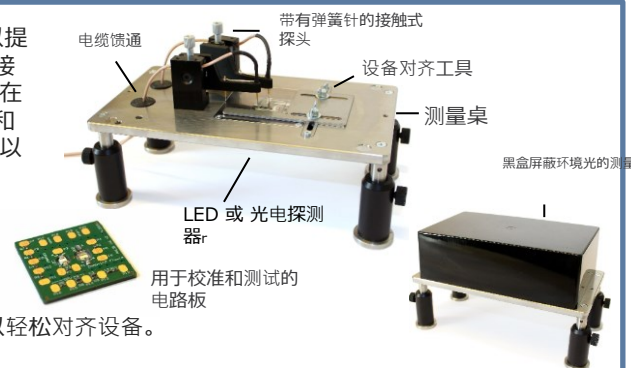
LED：具有自动增益的放大光电探测器包含在用于 LED 研究的版本中。

PV

LED

### 灵活的探针台

Paios与探针台一起交付，以提供一个完全校准的系统直至接触引脚。我们的接触探头旨在为您的设备提供低寄生电阻和可重复的接触。磁脚可调节以适应不同的样品布局。



- 使用我们的对齐工具可以轻松对齐设备。
- 测量台配有黑色盖子，以确保深色测量的可重复性。

paios

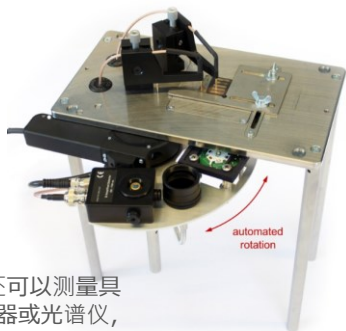
LED 和太阳能电池的电光性能表征



## Paios模块

### 自动测量台

- 光电探测器
- 光谱测量仪
- 多重LED板
- 太阳模拟器的空白空间



#### 对于太阳能电池研究：

使用快速 LED 光脉冲可以应用于太阳能电池，而且还可以测量具有不同光强度的稳态 IV 曲线。通过切换到光电探测器或光谱仪，您可以进一步分析高效太阳能电池的电致发光特性

#### 对于LED研究

无需手动更改测量设置即可测量 LED 光谱和瞬态电致发光。通过使用蓝色或紫外线 LED，Paios 还可以测量 LED 光响应。

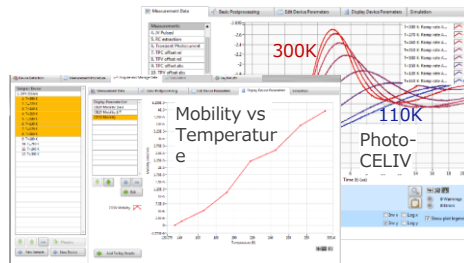
## Peltier 低温恒温器



- 能在低温和高温下执行所有 Paios 实验。
- 自动温度控制和数据采集。
- Peltier冷却系统。
- 标准产品中包含定制的样品架。
- 温度范围：-50°C 至 +80°C。
- 与自动测量台兼容。
- 多路复用：自动依次测量 4 个太阳能电池或 LED。
- 腔室可以抽真空或用惰性气体冲洗。

## 液氮低温恒温器

- 使用此液氮冷却和加热系统能在低温和高温下执行所有 Paios 实验。
- 自动温度控制和数据采集。
- 温度范围：-150°C 至 +200°C。
- 最大温度斜坡：40 K/min。
- 样品储存在惰性气氛中。



## 光谱测量模块



- 测量 LED 或太阳能电池的发射光谱
- 校准光谱仪
- 自动暗光谱校正
- 结合自动测量台功能最强大
- 提供不同的光谱仪

光谱范围：360 - 880/1100 纳米  
积分时间：1.1 毫秒至 10 分钟  
后处理物理量：亮度、辐射度、EQE、Im/W、CRI、CIE 坐标

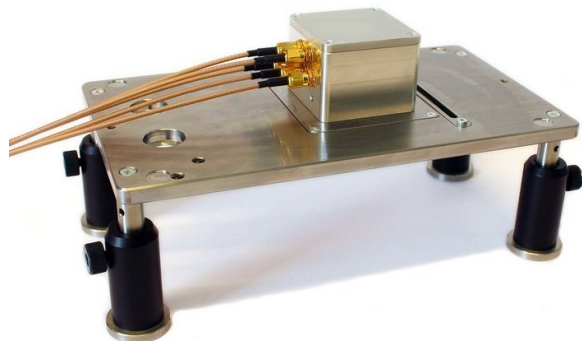
# paios

LED 和太阳能电池的电光性能表征



## Paios模块

### 定制样品架： 复用



使用 Paios 多路复用模块最多可以同时连接 4 个设备。Paios 会自动依次测量设备。这为操作员节省了大量时间。

#### 与定制样品架组合

我们还可应要求提供定制样品架。样品架与常规和自动测量台兼容。

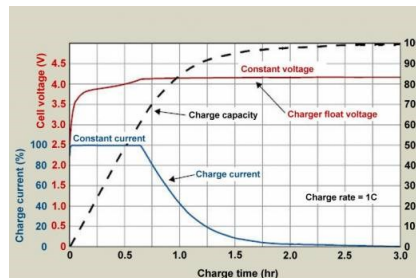
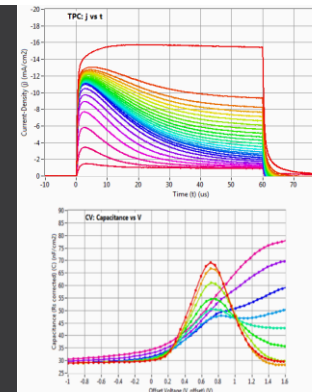
## 源测量 (SMU) 模块

SMU 模块是 Paios 的扩展，允许施加和测量高达 60 伏的电压。

- 每个实验选择提供SMU模式或常规 Paios。
- 提高您当前的分辨率。
- 测量阻抗谱、IV 曲线和高压瞬态实验。
- 也可用于应力测量和长期测量。
- 电压范围：±60 V
- 最小可测量电流：1 pA
- 频率范围阻抗：  
10 mHz 至 1 kHz
- 采样频率：100 kS/s

## 压力测试模块

- 监控设备退化。
- 恒定电流、电压和/或  $I_{sc}$ 、 $V_{oc}$  或 MPP 光照下的应力。
- 全自动加压、表征和数据采集。
- 获得高度一致的数据集。
- 了解设备性能下降的根源。



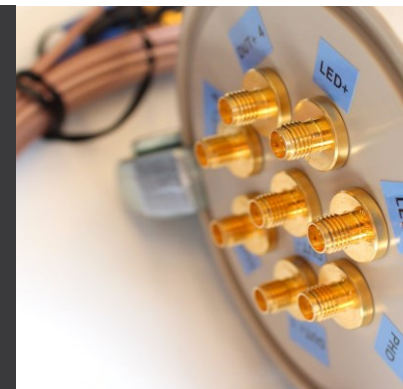
## 电池板块

电池模块使用 SMU 和压力测试模块来表征固态薄膜电池和其他电化学设备。

- 阻抗
- 循环伏安法

## 手套箱馈通

Paios 也可以与手套箱结合使用。根据要求，我们可为您的手套箱提供定制的电缆馈通装置。Paios 放在手套箱外面，里面可以使用测量台（或样品架）。



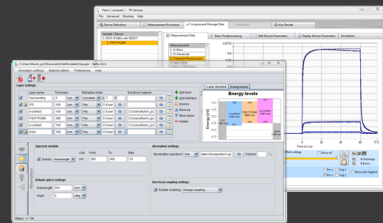
# paios

LED 和太阳能电池的电光性能表征

FLUXiM

## 数字模拟模块 (Setfos-Paios一体化)

数值模拟有助于了解您的测量结果。因此，我们将仿真软件 Setfos 无缝集成到 Paios 软件中。



- 对所有 Paios 实验进行模拟
- 模拟 LED 和太阳能电池
- 使用我们的全局拟合程序来提取设备和材料参数
- 直接在 Paios 软件中比较模拟和测量

## 参数提取

使用 Setfos-Paios 一体化来提取设备和材料参数：

- 电子和空穴迁移率
- 重组系数
- 电荷注入势垒
- 内置电压
- 掺杂密度
- 移动离子
- 陷阱参数
- 永久偶极矩
- 串联电阻
- 并联电阻
- 介电常数
- ....

材料参数如何影响实验？

使用漂移扩散模拟来分析某些材料参数对实验的影响。轻松扫描仿真参数以了解其影响。

## 分布式计算

使用 Setfos-Paios 一体化，计算可以通过网络分布在不同的计算机上。

通过在不同计算机上并行运行模拟来节省时间。

## 什么是参数相关性？

当两个仿真参数相关时，这意味着它们对仿真结果的影响非常相似。在这种情况下，提取的参数不是唯一的，因此不可靠。

对于每个拟合，Paios 会自动计算一个相关矩阵。该矩阵显示了所有相关参数之间的相关性。

通过相关矩阵，用户可以判断拟合的唯一性。通过向全局拟合添加进一步的实验，可以减少参数相关性。

	Electron-Mobility	Hole-Mobility	Opt Gen Eff	Epr	Ref Eff	Built-in-Voltage	Anode Barrier	Cathode Barrier	Polymer-Acceptor-Doping (p-type)	NO
Electron-Mobility	1.00									
Hole-Mobility	-0.41	1.00								
Opt Gen Eff	-0.01	0.30	1.00							
Epr	-0.25	0.21	0.04	1.00						
Ref Eff	0.45	-0.92	-0.24	-0.04	1.00					
Built-in-Voltage	-0.71	-0.08	0.10	0.17	0.10	1.00				
Anode Barrier	-0.67	-0.13	0.05	-0.12	0.08	0.95	1.00			
Cathode Barrier	-0.69	-0.20	0.06	0.17	0.22	0.97	0.92	1.00		
NO	0.68	0.19	-0.05	-0.03	-0.18	-0.97	-0.97	-0.98	1.00	
Polymer-Acceptor-Doping (p-type)	-0.21	-0.03	-0.01	0.57	0.21	0.16	-0.03	0.31	-0.15	1.00

## 什么是拟合？

拟合是调整模拟参数以使测量和模拟结果一致的过程。

拟合用于从实验结果中提取参数。如果同时拟合多个实验类型，则称为全局拟合。

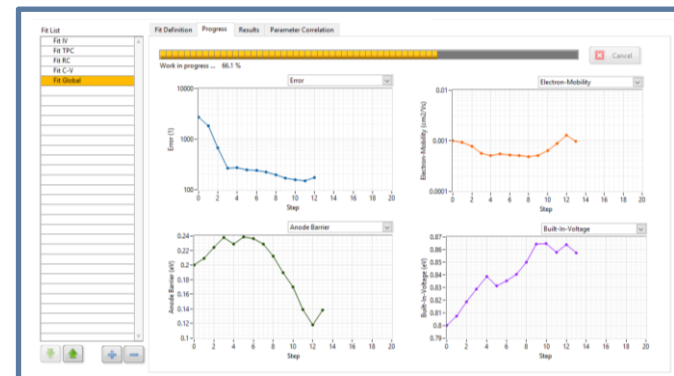
## 实验结果的全局拟合

Paios 软件优化参数以适应多个实验。

用户定义目标（适合什么）和要优化的参数。

剩下的就交给软件了。

使用全局拟合以更高的精度可靠地提取设备和材料参数。



paios

LED 和太阳能电池的电光性能表征

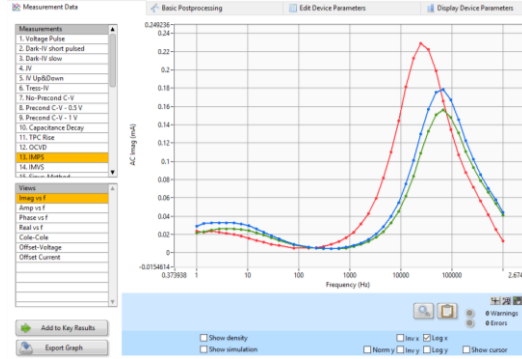


# Paios软件特点

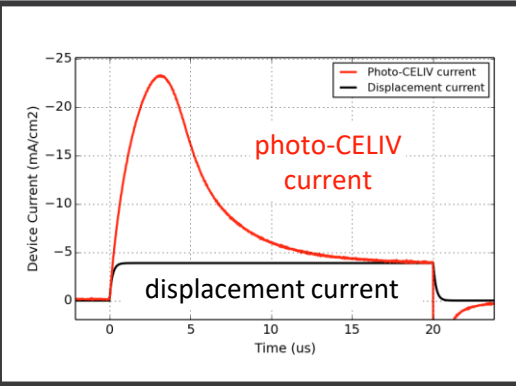
## 数据管理和对比

Paios 不仅仅是一种测量工具。Paios 获取数十种设备的系统数据，并让您在 Paios 软件中进行比较。

- 内部数据库存储所有测量数据
- 多选感兴趣的设备并比较所有测量结果
- 结构化和组织您的数据
- 命名和存储关键结果



# 调整RC效应

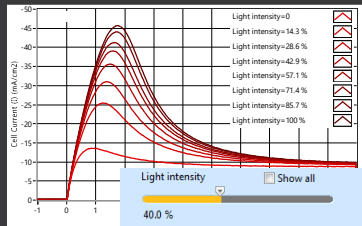


RC 效应叠加在器件电流上，会严重干扰瞬态实验。

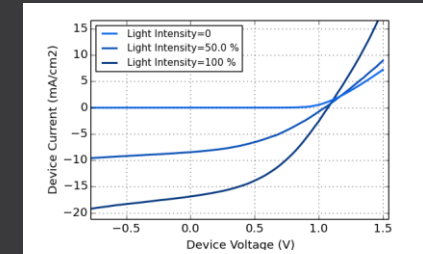
Paios 提供了提取器件的串联和并联电阻以及几何电容的例程。使用这些值计算位移电流，并且可以针对 RC 效应校正电流。

## 参数扫描

- 扫描测量参数
- 扫描类型：线性、对数、用户自定义列表
- 以图形方式检查您的数据集



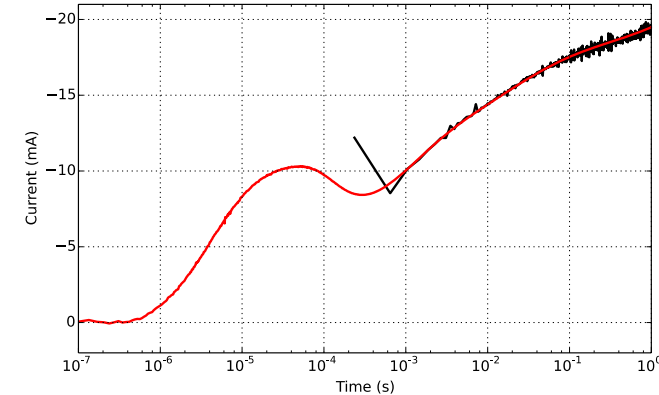
## 导出数据



- 创建漂亮的、出版质量的图。
- 将单个绘图导出为 eps、pdf 或 png 文件。
- 自动创建测量报告并导出为 PDF。

## 灵活的时间分辨率

Paios 优化了每个实验的时间分辨率，使其能够一次性解决多达 7 个数量级的时间。这有助于分析钙钛矿太阳能电池，其动态范围从微秒到几分钟不等。



预处理：

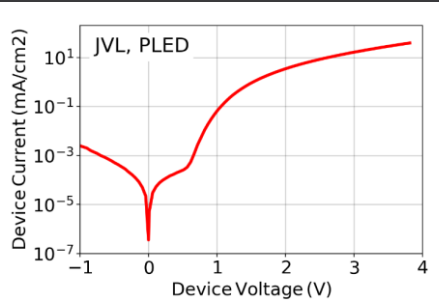
为了更好地了解滞后现象并获得可重复的结果，每个实验都可以在指定的预处理步骤（电压、电流和/或光照）之后进行。

# paios

LED 和太阳能电池的电光性能表征



## IV(L) – 电流-电压 (-亮度) 特性



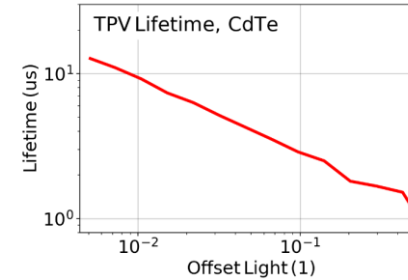
对于太阳能电池, Paios 会根据开路电压与光强度的斜率自动计算光理想因子。

- 电压范围 -12 至 +12V
- 电流分辨率 < 100 pA
- 用于太阳能电池和 OLED
- 提取 LED 的发射起始电压
- 从 Mott-Gurney 分析 (SCLC) 中提取单极器件的迁移率
- 提取单/双二极管模型的参数
- 提取太阳能电池的 Isc、Voc、FF 和 MPP

## TPV – 瞬态光电电压

在这个实验中, 太阳能电池在光照下保持开路。施加一个小的额外光脉冲, 导致电压升高。

光脉冲关闭后, 电压衰减回其先前值。从这个衰减时间计算电荷载流子复合寿命。大信号开路电压衰减 (OCVD) 也可以使用这种测量技术进行。



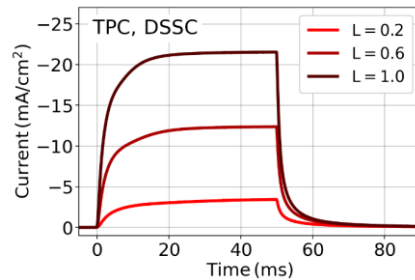
- 脉冲长度: 1 μs 至 1000 s
- 器件电压 -12 至 +12V
- 适用于太阳能电池

## TPC – 瞬态光电流

该技术测量响应光脉冲的瞬态电流。

上升和衰减的形状提供了有关电荷载流子迁移率、它们的比率和捕获动力学信息。

这种技术也可以用于以小信号模式偏置照明以确定电荷密度。

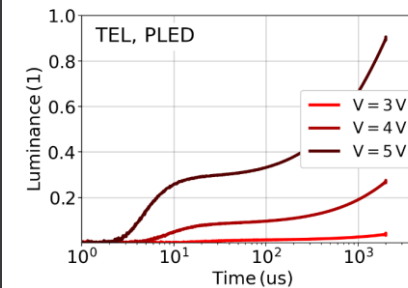


- 脉冲长度: 1 μs 至 1000 s
- 偏移电压 -12 至 +12V
- 适用于太阳能电池

将电压脉冲施加到钙钛矿 LED 并测量瞬态 EL 信号。分析电压开启和发射开启之间的延迟时间, 可以计算平均迁移率。通过研究电致发光信号的衰减, 可以确定磷光寿命。

- 用于 LED 和高效太阳能电池
- 提取平均电荷载流子迁移率
- 提取电致发光寿命

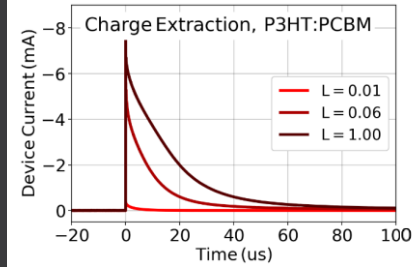
## TEL – 瞬态电致发光



## CE – 电荷提取

太阳能电池在光照下保持开路。然后同时关闭灯和设备短路以提取电荷。Paios 对提取电流进行积分以获得提取前器件中的总电荷载流子密度。

- 适用于太阳能电池
- 用不同的延迟时间从电荷提取中提取复合系数类似于OTRACE。



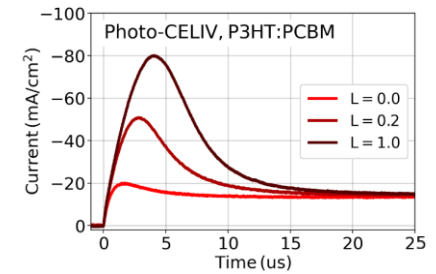
## CELIV – 通过线性增加电压

Photo-CELIV 是一种提取载流子迁移率、复合系数和掺杂密度的强大技术。

CELIV 是有机太阳能电池常用的表征技术，但也可应用于钙钛矿太阳能电池或 LED。

反向施加电压斜率以提取电荷载流子。电流峰值与电荷载流子迁移率有关。

Paios 使用 OTRACE 技术从具有不同延迟时间的 photo-CELIV 测量中准确确定太阳能电池的复合系数。

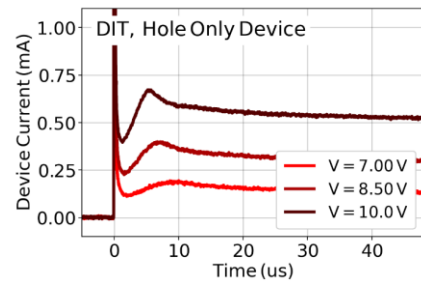


- 适用于太阳能电池、MIS 和 LED
- 提取电荷载流子迁移率
- 从暗 CELIV 测量中提取掺杂密度
- 从暗 CELIV 中提取几何电容和串联电阻
- 从 OTRACE CELIV 中提取太阳能电池的复合系数

## DIT – 暗注入瞬变

对器件施加电压阶跃并测量瞬态电流响应。

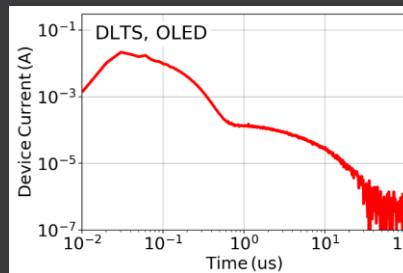
在具有良好欧姆接触的单极（只能注入一种电荷载流子类型）器件中，电荷载流子迁移率可以从电流峰值确定。



空间电荷效应导致电流过冲。因此，该技术在文献中也称为瞬态空间电荷限制电流（T-SCLC）。电流过冲的时间与渡越时间有关，并允许估计电荷载流子迁移率及其场依赖性。电流过冲的发生是电荷注入良好电接触的确证。

- 适用于单极器件、太阳能电池和 LED
- 提取串联电阻和几何电容

## 深能级瞬态光谱(DLTS)



深能级瞬态光谱 (DLTS) 是一种表征二极管内部陷阱的测量方法。

在 Paios 中，实现了电流 DLTS 方法，其中记录了作为对反向电压脉冲的响应的陷阱的填充和释放。指数电流衰减是单个陷阱水平的特征，温度相关衰减时间可用于确定陷阱能量。

- 适用于太阳能电池、MIS 和 LED

paios

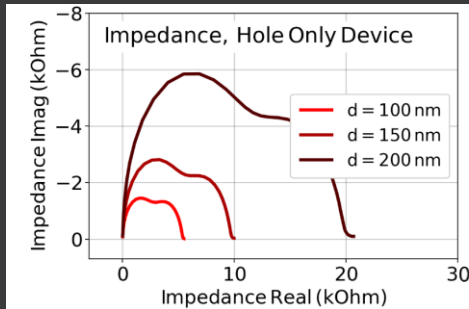
LED 和太阳能电池的电光性能表征





## IS – 阻抗谱

在阻抗谱中，一个小的正弦电压被施加到设备上，并根据电流的幅度和相移测量复阻抗。该技术被广泛用于研究太阳能电池和 LED。可以研究不同频率下的电荷载流子动力学。



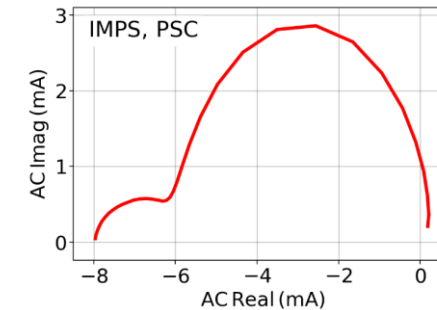
- 频率范围：10 mHz - 10 MHz
- 阻抗数量级高达  $G\Omega$
- 偏移电压 -12 至 +12V
- 适用于所有设备
- 与等效电路拟合
- 提取串联电阻、并联电阻和几何电容

## IMPS – 强度调制光电流谱

太阳能电池在短路时以恒定的光强度照明。在恒定光强度之上添加了一个小的调制光信号。

在短路电流和输入光之间测量幅度和相移。

该技术用于研究太阳能电池中的电荷传输。



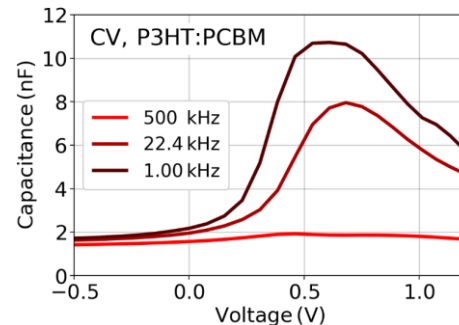
- 频率范围：10 mHz 至 1 MHz
- 偏移电压 -12 至 +12V
- 适用于太阳能电池
- 从 IMPS 峰值中提取电荷传输时间

## CV – 电容电压法

器件的阻抗是针对恒定频率下变化的偏移电压进行测量的。

电容-电压曲线揭示了有关内置场和电荷注入势垒的信息。

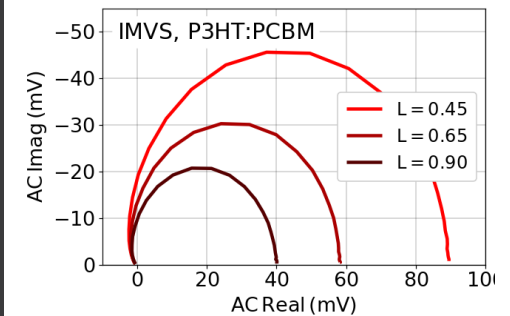
- 偏移电压 -12 至 +12V
- 适用于太阳能电池和 LED
- 通过 Mott-Schottky 分析提取掺杂密度



IMVS 的工作原理类似于 IMPS (上图)，但不是将太阳能电池保持在短路状态，而是将太阳能电池保持在开路状态。该技术用于提取太阳能电池中的电荷载流子寿命。

- 频率范围：10 mHz 至 1 MHz
- 适用于太阳能电池
- 从 IMVS 峰中提取重组时间

## IMVS – 强度调制光电压谱

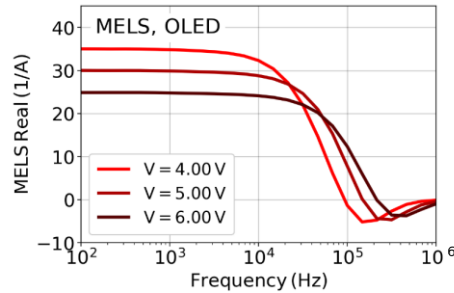


## MELS – 调制电致发光光谱

与阻抗谱一样，正弦电压在恒定偏移电压之上施加到器件。

相对于各种频率，测量EL 信号的幅度和相移。

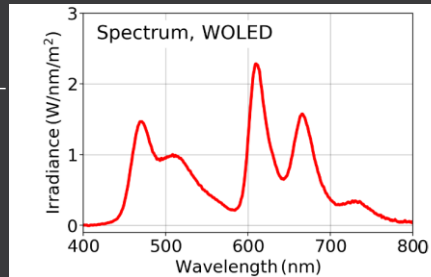
MELS 用于研究 LED 中的电荷传输。



- 频率范围：10 mHz 至 10 MHz
- 偏移电压 -12 至 +12V
- 适用于LED

## 发光光谱

LED 的电致发光光谱是其最重要的特性之一。可以通过光谱仪模块获得。可以在直流、脉冲和脉冲宽度调制模式下在恒定电压/电流条件下测量频谱。



使用校准的光谱仪可以量化绝对光谱和综合辐照度、亮度和电流效率以及 CIE 和色温。

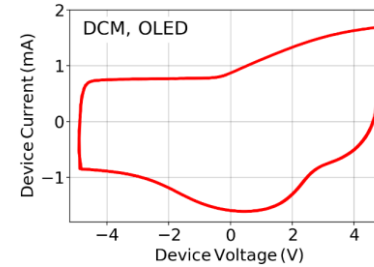
适用于发光器件 (OLED、PLED、OLEC) 和钙钛矿太阳能电池

## 用户自定义信号

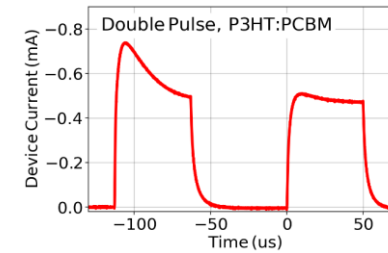
自定义信号编辑器允许生成任意瞬态电压和照明信号并测量产生的设备电流。通过定义相关的时间间隔，可以方便地绘制和绘制信号。

- 适用于太阳能电池、LED、单极器件

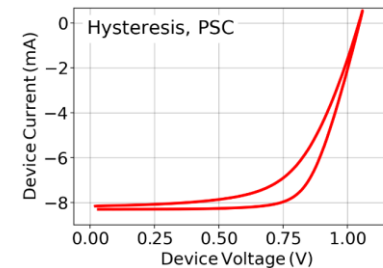
预定义例子如下：



- 具有上升和下降电压斜坡周期的位移电流测量 (DCM)



- 具有不同延迟时间的双瞬态光电流脉冲以分析陷阱



- 上下扫描 IV 曲线以研究滞后

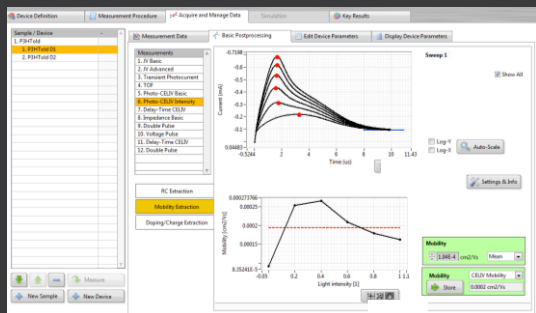
paios

LED 和太阳能电池的电光性能表征

FLUXiM

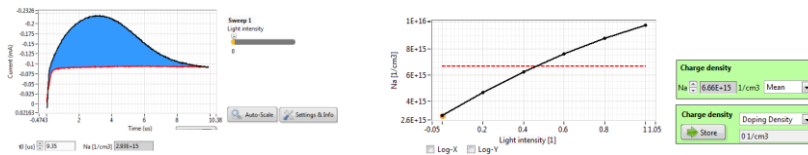
## 参数提取后处理

Paios 附带灵活且用户友好的后处理程序。即使是新用户也可以轻松分析实验结果和提取参数。



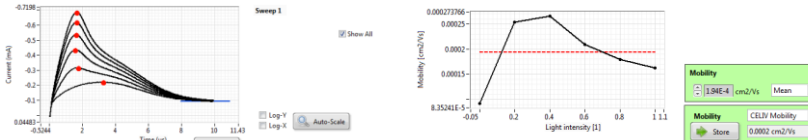
## 通过线性增加电压获得掺杂密度

对暗 CELIV 电流过冲（以蓝色显示）进行积分以获得掺杂密度。



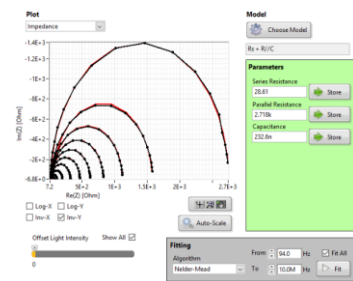
## CELIV - 迁移率

从 CELIV 实验中提取电荷载流子迁移率。用户可以在几个公式之间进行选择来估算迁移率。

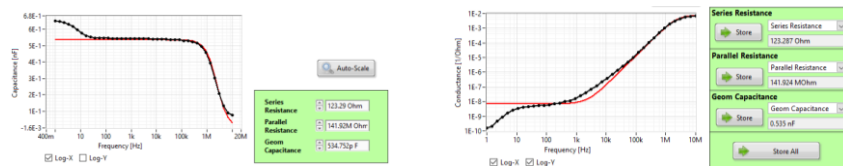


## 等效电路拟合

分析阻抗谱数据最流行的方法是等效电路拟合。Paios 已经为这种配合集成了一个例程。用户定义或预定义电路可用。



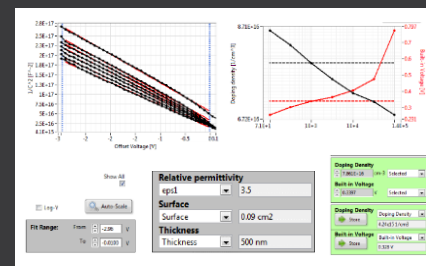
## 来自阻抗的串联电阻和几何电容



一个从阻抗谱数据中提取串联电阻和几何电容的非常可靠的方法。

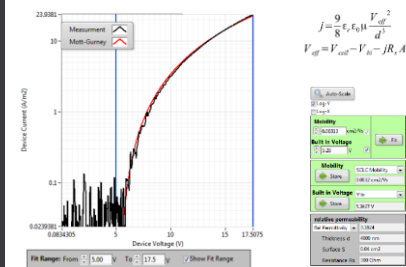
## 采用电容电压法获得 Mott-Schottky 掺杂密度

通过 Mott-Schottky 分析，可以从 CV（电容电压法）测量中提取半导体的掺杂密度（前提是器件足够厚）。



## 从 Mott-Gurney 拟合获得电荷载体迁移率

在单极器件中，可以使用 SCLC 拟合从 IV 曲线中提取电荷载流子迁移率。



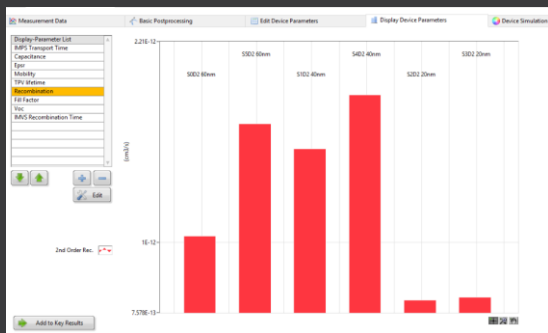
paios

LED 和太阳能电池的电光性能表征



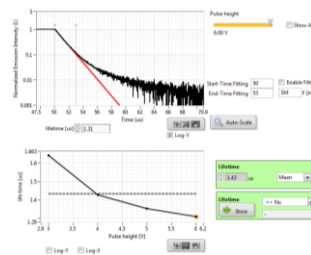
## 参数提取后处理

比较您在 Paios 中提取的参数，创建和导出条形图或 xy-plots。



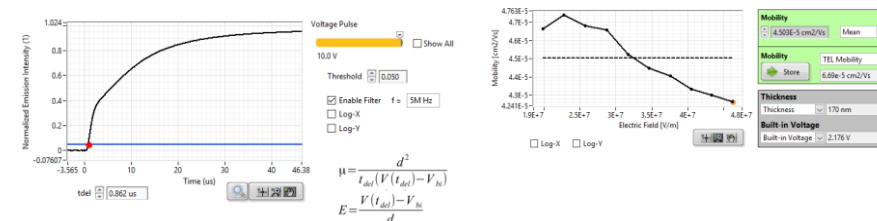
## 发光寿命

从电压关闭后的电致发光衰减可以提取发射器的发光寿命。



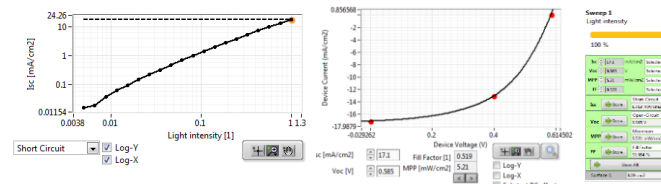
## 瞬态电致发光中的迁移率

从 CELIV（线性增加电压）实验中提取电荷载流子迁移率。用户可以在几个公式之间进行选择来估算迁移率。

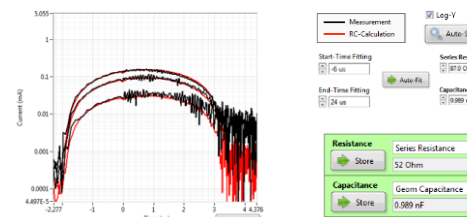


## 太阳能电池基本参数

提取太阳能电池的短路电流、开路电压、填充因子和最大功率点。



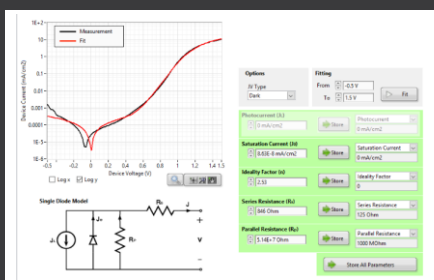
## 电压脉冲的串联电阻和介电常数



从反向的小电压脉冲确定介电常数/电容和串联电阻。

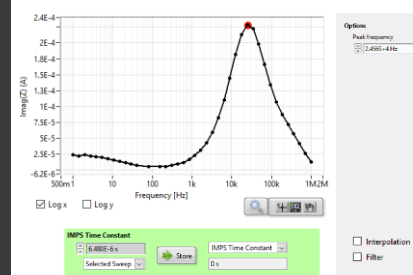
## 单二极管模型拟合

提取太阳能电池单二极管模型的参数：理想因子、暗饱和电流、串联电阻和并联电阻。



## IMPS 的传输时间 IMVS 的粒子寿命

从描述充电到达触点的速度的 IMPS 轻松确定传输时间。从 IMVS 确定电荷载流子寿命。



paios

LED 和太阳能电池的电光性能表征



## Paios 规格

采样率	60 MS/s
时间分辨率	16 ns
电压范围	± 12 V
扩展电压范围 (SMU 模块, 高达 1 kHz)	± 60 V
频率范围阻抗谱	10 mHz to 10 MHz
最小可分辨电流	< 100 pA
最大电流	100 mA
测量分辨率	12 Bit
光谱分辨率 (光谱仪模块)	2.5 nm
LED 上升/下降时间 (PV 版本)	100 ns
照明区域 (PV 版)	1.7 cm <sup>2</sup>
电脑连接	PXI and USB
尺寸/重量	40 x 30 x 20 cm <sup>3</sup> / 18kg

## Paios 可选模块

- 液氮低温恒温器
- Peltier 低温恒温器
- 光谱仪模块
- 自动测量台
- 复用模块
- 手套箱馈通
- 源测量单元 (SMU)

## Paios 技术支持

每次购买 Paios 都包含全面的技术支持。我们的研发科学家团队也很乐意讨论我们如何提供帮助。

立即联系我们，讨论 Paios 如何推进您的研发。

hardware@fluxim.com



## Trusted by Academics & Industry



Katharina-Sulzer-Platz 2 CH-8400 Winterthur,  
Switzerland +41 44 500 47 70 info@fluxim.com