



Tektronix

泰克教育行业实验室 解决方案

12 JULY 2018

泰克与中国教育的不解之缘

泰克伴随中国院校发展，在每个阶段都提供适合的解决方案



泰克在美国波特兰成立



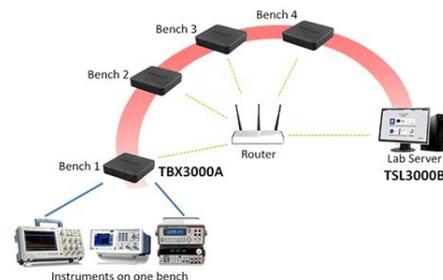
中国教育开始较多使用



模拟—数字



首先推出智能实验室



1946年

1972年

1980年代

1990年代

2000年

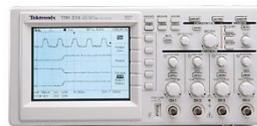
2003年

2010年

2017年

泰克随尼克松进入中国

“985”，
“211”



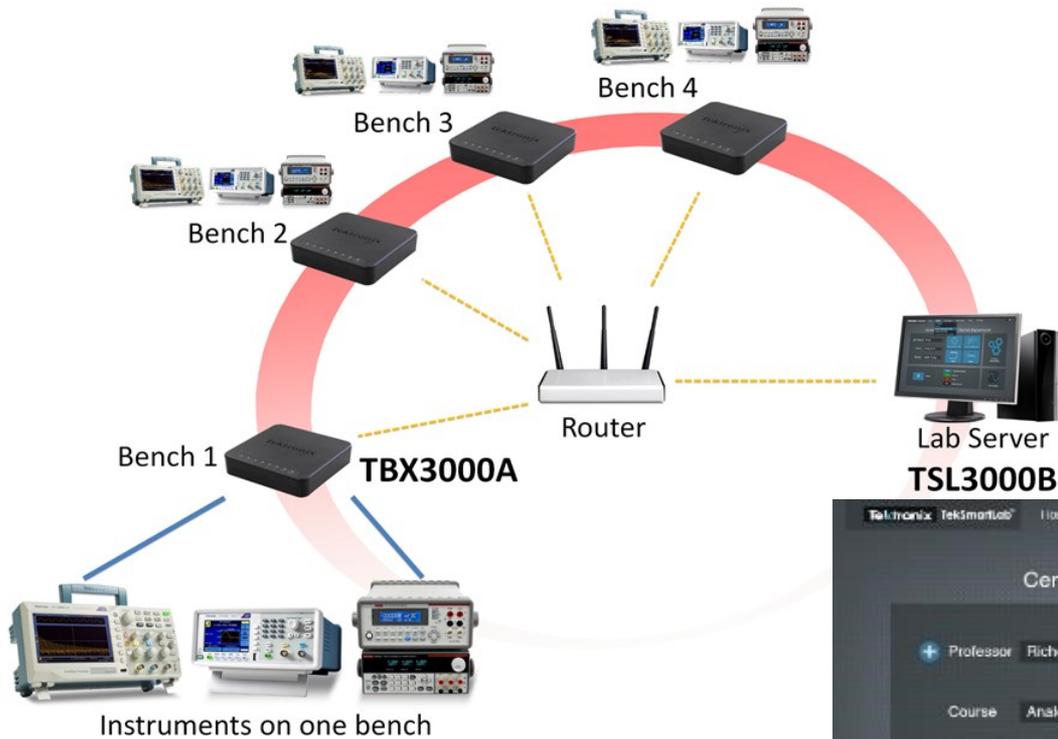
支持大学生电子竞赛



“双一流”
“新工科”

基础实验室的载体-TekSmartLab

以智能实验室为中心建设基础实验室



泰克智能实验室丰富实用的功能

泰克智能实验室在课前，课中和课后都有实用的功能



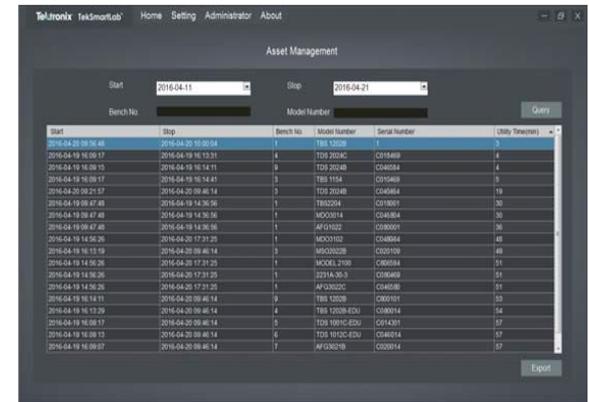
• 课前：

- 一键扫描所有仪器
- 快速预设仪器参数
- 灵活配置实验桌



• 课中：

- 远程实验纠错
- 普遍错误背投讲解
- 电子化学生报告



The screenshot shows an 'Asset Management' window with a table listing instrument assets. The table includes columns for Start, Stop, Bench No., Model Number, Serial Number, and Utility Times. The data is organized and easy to navigate, facilitating the management of lab equipment.

Start	Stop	Bench No.	Model Number	Serial Number	Utility Times
2016-04-20 09:56:48	2016-04-20 10:00:54	1	TDS 3032C	001869	3
2016-04-19 16:09:17	2016-04-19 16:13:31	4	TDS 2034C	004584	4
2016-04-19 16:09:13	2016-04-19 16:14:41	9	TDS 2034B	004584	4
2016-04-19 16:09:17	2016-04-19 16:14:41	5	TDS 1154	001869	3
2016-04-20 09:21:57	2016-04-20 09:46:14	3	TDS 3032B	004584	19
2016-04-19 09:47:48	2016-04-19 14:36:56	1	TDS2034	001869	30
2016-04-19 09:47:48	2016-04-19 14:36:56	1	MCO0014	004584	30
2016-04-19 09:47:48	2016-04-19 14:36:56	1	AFU1022	008001	36
2016-04-19 14:36:56	2016-04-20 17:31:25	1	MCO0103	004584	48
2016-04-19 16:13:19	2016-04-20 09:46:14	3	MS00202B	000109	48
2016-04-19 14:36:56	2016-04-20 17:31:25	1	MCKEL 2100	006084	54
2016-04-19 14:36:56	2016-04-20 17:31:25	1	2221A_36.3	008069	54
2016-04-19 14:36:56	2016-04-20 17:31:25	1	AFU0202C	004584	54
2016-04-19 16:14:11	2016-04-20 09:46:14	4	TDS 1203B	008001	54
2016-04-19 16:13:29	2016-04-20 09:46:14	4	TDS 1203B-EDU	008014	54
2016-04-19 16:09:17	2016-04-20 09:46:14	5	TDS 1031C-EDU	004391	57
2016-04-19 16:09:13	2016-04-20 09:46:14	6	TDS 1032C-EDU	004514	57
2016-04-19 16:09:07	2016-04-20 09:46:14	7	AFU0202B	002014	57

• 课后：

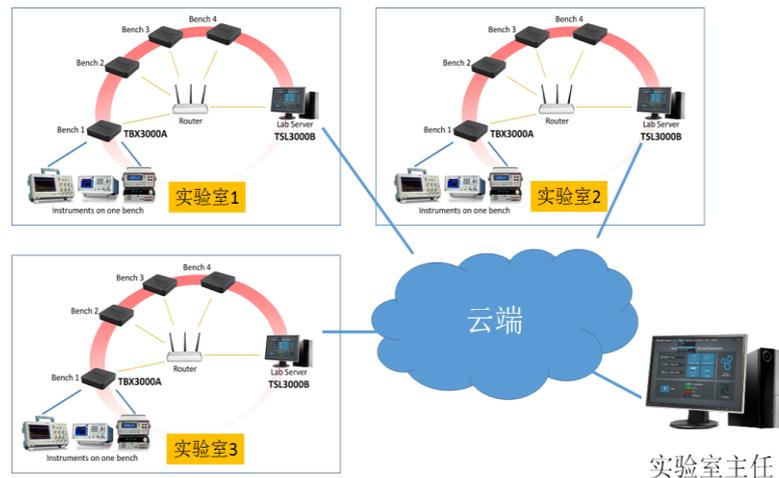
- 年度仪器绩效统计
- 无人值守实验室
- 仪器自助借用系统

泰克智能实验室功能拓展

和院校合作，进一步探索实验大平台建设

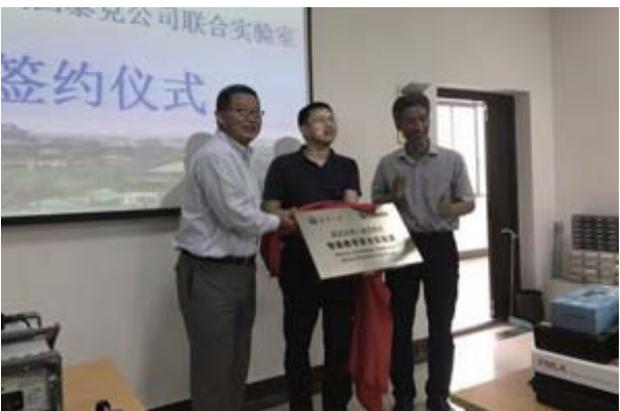
实验大平台建设的新思路：

- 建立实验室管理中心
- 功能增强
 - ✓ 学生刷卡进门
 - ✓ 校级兴趣课自动排座
 - ✓ 仪器工作台自动上电等



泰克智能实验室成功案例

实验室遍布华北、华东、华中、华南，受到广泛认可。



拉近学生实验室与工程师实验室之间的距离



“This [equipment] is what they’ll see when they get out in industry — not just electrical and engineering students, but all students,” said Jim Fischer

对这些学生来说，不光是电子工程，所有学生都一样，他们现在用到的设备就是他们将来在工作岗位上见到的 - Jim Fisher

产教结合

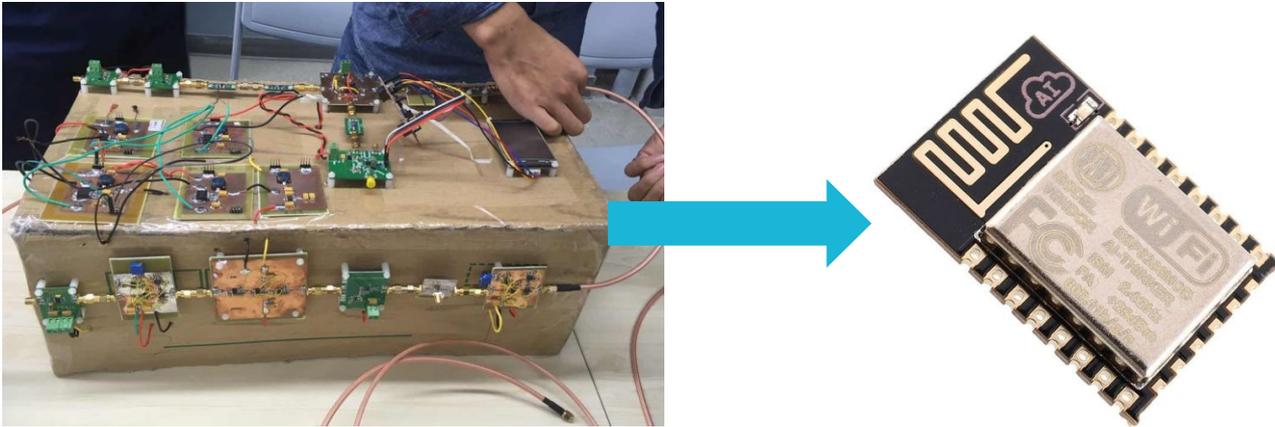
从教学实验室向工程师实验室转变



- 实验和教学内容的转变：产业前沿和热点内容带入实验室，体现新技术，新工艺
- 实验方式的转变：从验证性实验到设计性实验，体现理论课在实际系统中的应用价值
- 实验工具的转变：从教学实验平台到设计实验平台，提升性能，具备真实的应用背景

产教结合

从学生作品到产品的转变，测试测量的意义



- 培养工程师思维，提高分析问题解决问题的能力
- 通过数据说明现象，反映问题，表征性能，寻找差距
- 了解产业标准，掌握现代评测方法，提高研发效率

创新实验室的作用

连接产业应用与实验室教学，为教学实验提供新的内容，为学生创新提供方向指导



产业应用

寻找新的热点行业和热点应用
提供产业应用的背景信息，发展方向
提炼与教学内容的结合点

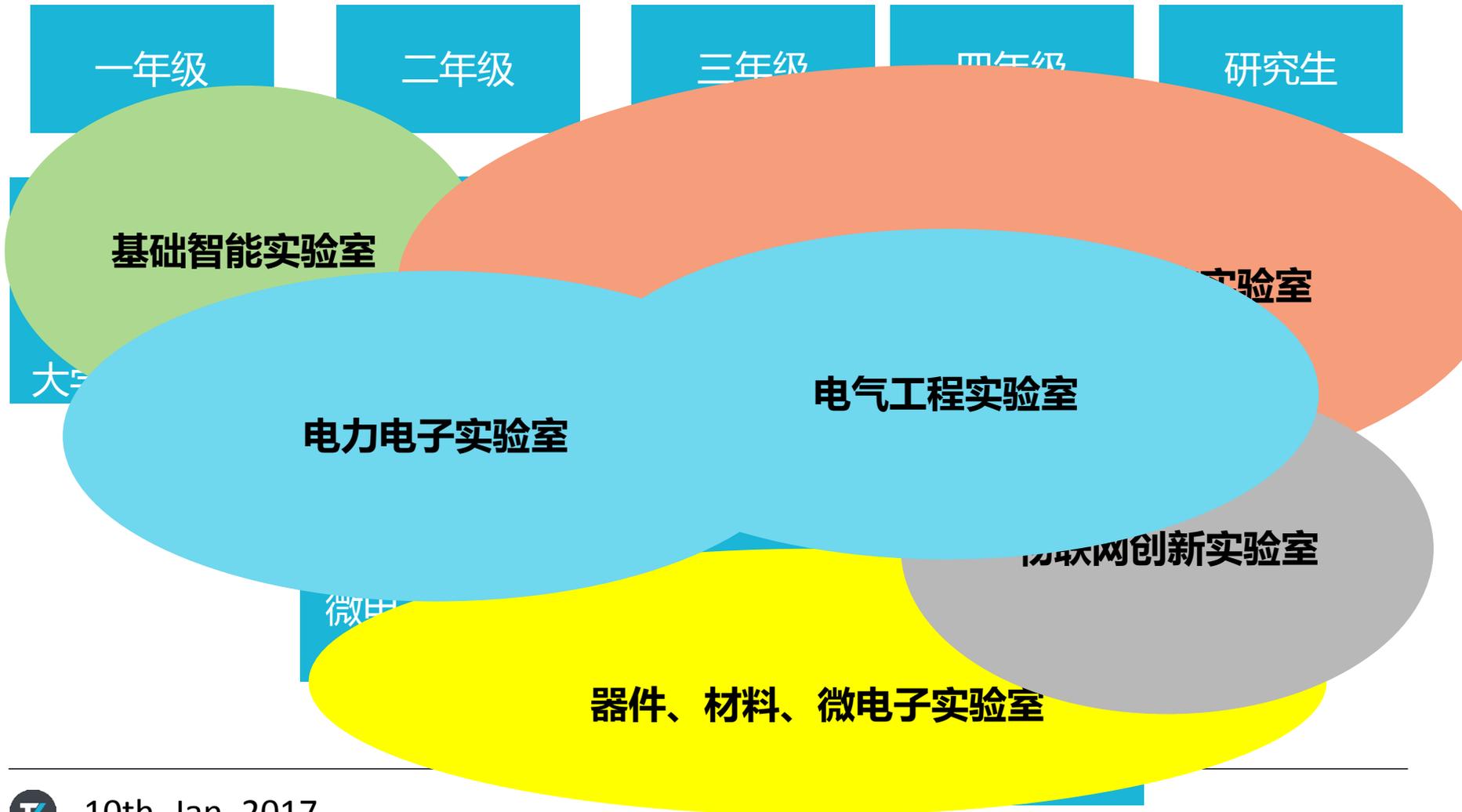
创新实验

小班教学，以创新实验的方式开展
提高动手能力，将理论知识与实际应用结合
体现复杂系统和复杂问题
改编成适合教学使用的实验应用

基础实验

泰克将相关产业经验融入实验教学

为创新实验课程提供新内容新思路



例子：光伏逆变器测试平台

通过新能源行业的热点应用，了解三相电的连接和使用方法

- 实验内容：
 - 实验一：光伏电池的 I-V 特性曲线测试
 - 实验二：MPPT 峰值功率追踪算法的动态实现
 - 实验三：光伏逆变器的设计和测试
- 产业发展方向：
 - 高效率光伏材料的研发
 - 集中式大功率 逆变器功率提升，效率提高
 - 分布式中小功率逆变器进一步普及
 - 并网发电需求增强，谐波降低，逆变器对电网适应能力提高



举例：Tesla 分布式光伏能源方案

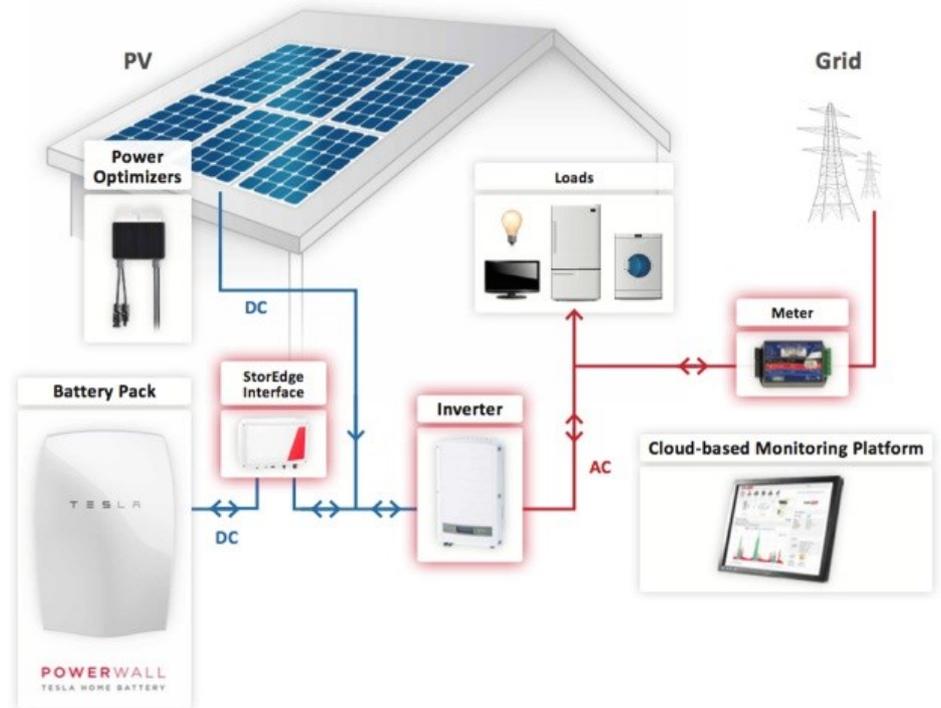
分布式家庭光伏能源系统，包括光伏电池屋顶，储能电池，逆变器等



Solar Roof



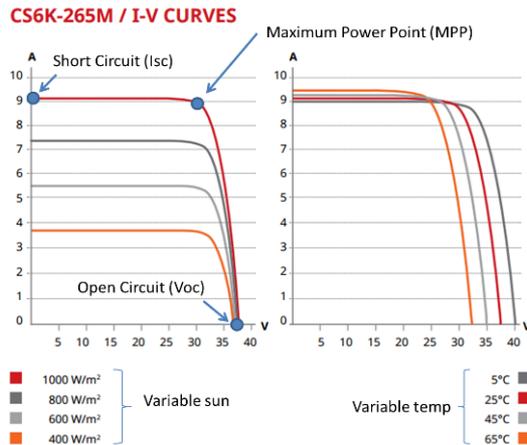
Power Wall



实验一：光伏电池单元的输出特性测试

验证光伏电池单元的输出伏安特性曲线，观察环境因素对输出的影响

- 测试项目：
 - I-V 特性曲线，开路电压点，短路电流点，最大功率点，填充因数等
 - 改变光照条件和环境温度测试 I-V 曲线的变化

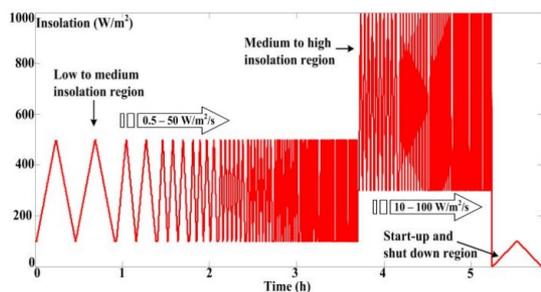


实验二：MPPT 算法的设计和测试

MPPT峰值功率追踪算法的原理和实现



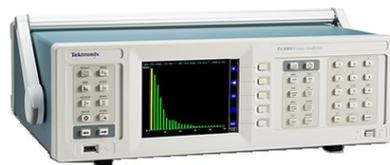
光伏模拟器



根据EN50530生成的动态光照变化曲线



TI MPPT开发板



功率分析仪



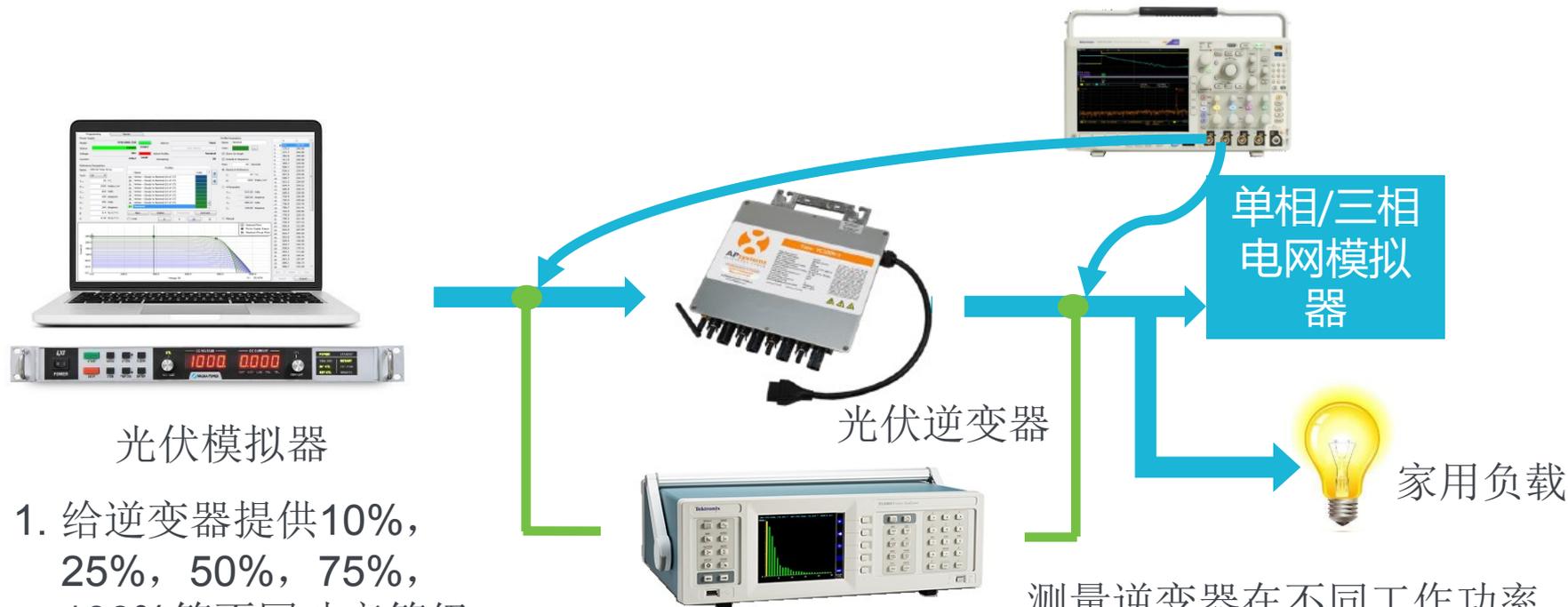
测量MPPT DC-DC转换电路的：

1. 转换效率
2. 扫描范围，扫描速度

根据产业客户实验室的测试方案和测试需求搭建测试平台 ¹⁵

实验三：三相光伏逆变器的测试

测试连接和主要测量内容



光伏模拟器

光伏逆变器

单相/三相
电网模拟
器

家用负载

功率分析仪

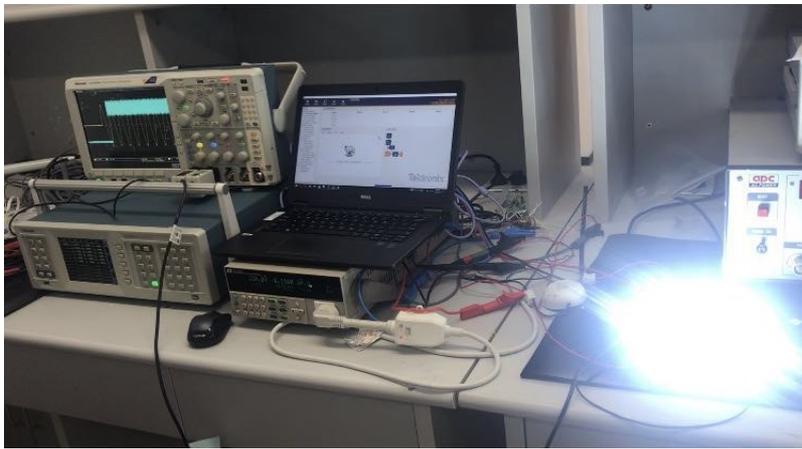
1. 给逆变器提供10%，25%，50%，75%，100%等不同功率等级的直流输入，测试逆变器的MPPT效率
2. 动态调整 I-V 特性曲线观察 MPPT 工作状态，测试稳定时间

测量逆变器在不同工作功率下的：

1. 转换效率
2. 注入电网电流的总谐波失真及各阶次谐波分量
3. 功率因数
4. 三相电压及电流不平衡度

搭建与产业客户一致的实验环境

提升学生的学习兴趣，培养分析问题解决问题的能力



根据产业客户实验室的测试方案和测试需求搭建测试平台

光伏逆变器的性能评判

光伏逆变器的整体性能评估

典型参数：

- 逆变器的效率
 - 静态/动态/MPPT效率
- 峰值功率跟踪电压范围
- 直流输入电压范围
- 最大直流输入电流
- 交流电压
- 交流频率
- 总谐波失真
- 额定交流输出功率
- 交流最大输出功率
- 最大输出电流
- 过流保护
- 夜间耗电量

相关行业标准：

- CEC/European/Total Efficiency Test
CEC/European/总效率测试
(符合Sandia, EN50530, CGC/GF004:2011)
- MPPT Efficiency Test
最大功率追踪效率测试 (符合Sandia, EN50530)
- Current Harmonics Test
电流谐波测试
(符合IEEE 1547 & IEEE 1547.1, UL 1741, CGC/GF004:2001, GB/T 19939)
- 过频率/欠频率/过压/欠压测试 (符合IEEE 1547 & IEEE 1547.1, UL 1741)

例子：基于软件无线电的通信射频综合实验

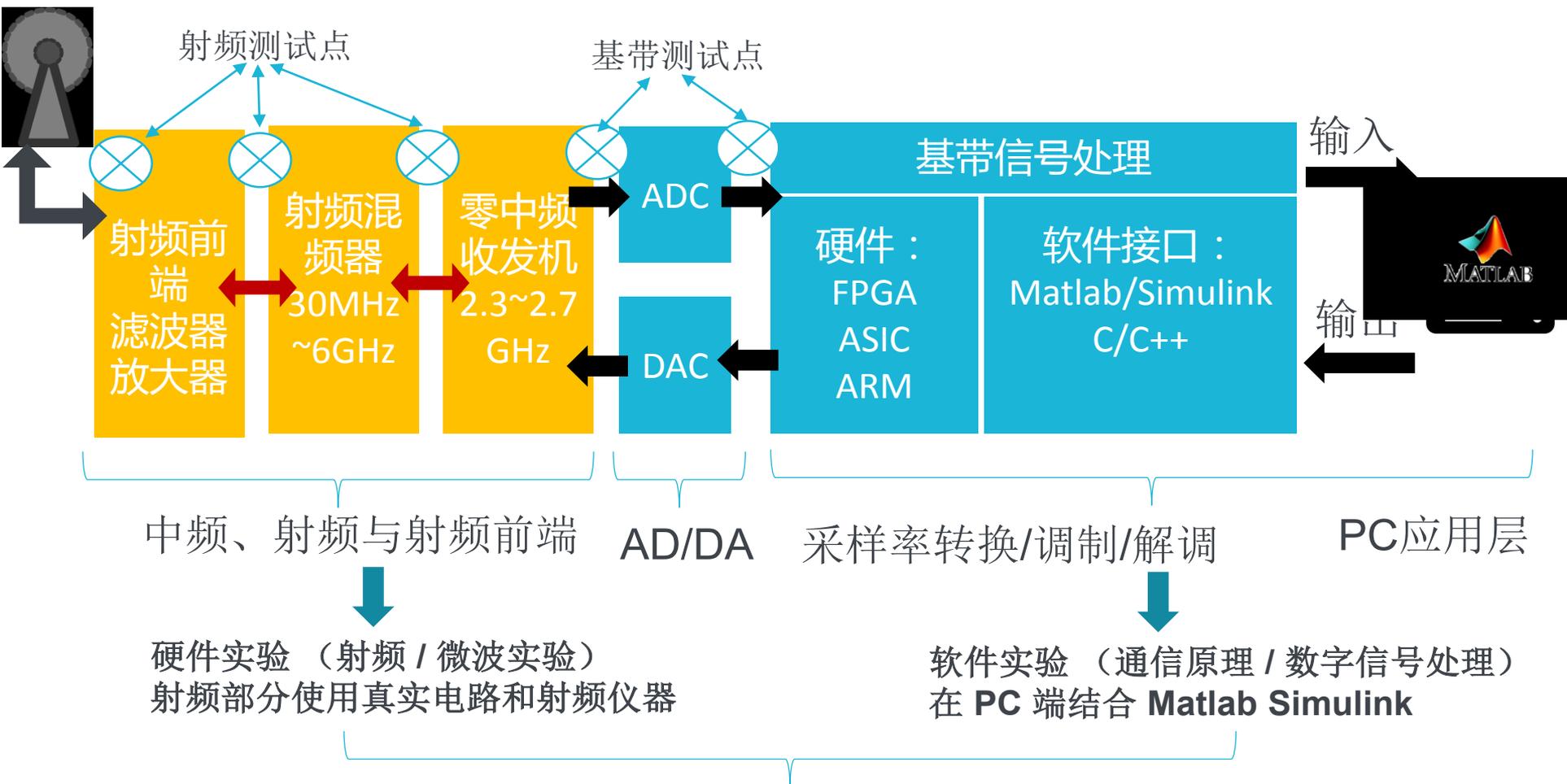
将软件无线电技术与先进的射频测试技术相结合

- 传统通信/射频/微波实验课的教学难点
 - 设备落后，传统射频仪器价格昂贵
 - 课程内容分散，无法在课堂上展示完整的通信系统
 - 教学内容与实际应用脱节，实验课内容简单，以验证性实验为主
- 我们的方案 – 射频仪器 + RF Master 软件无线电实验板



创新的射频通信实验平台

基于软件无线电平台的综合学习实验课



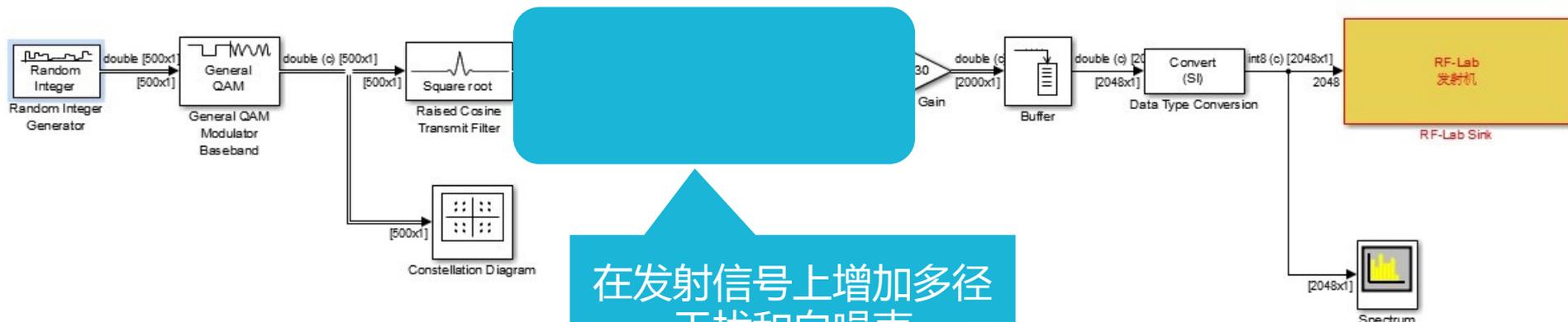
通过建立完整的射频通信系统，帮助同学了解现代通信平台



复杂的数字调制实验

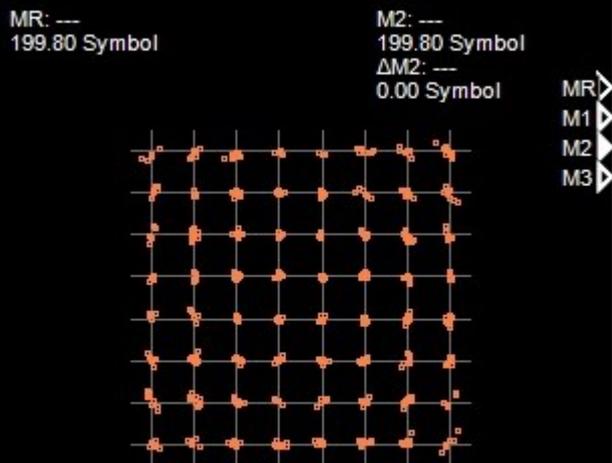
为发射信号增加信道干扰和噪声

64 QAM modulation



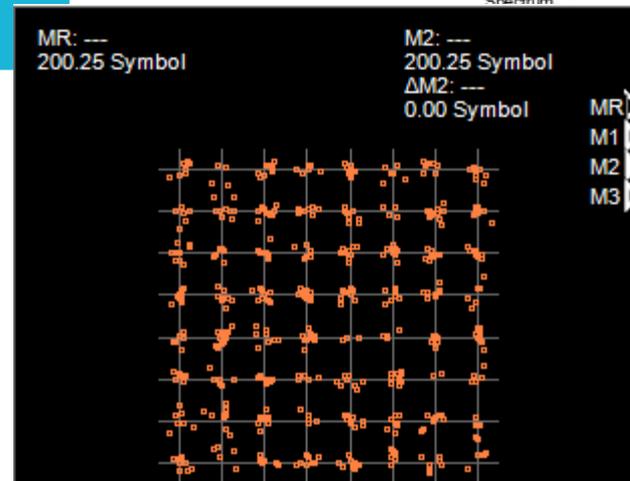
在发射信号上增加多径干扰和白噪声

增加干扰后，RSA 306 解调得到的星座图变差，EVM值变大



EVM RMS: 3.438%

Data from warm-up period ... More>>



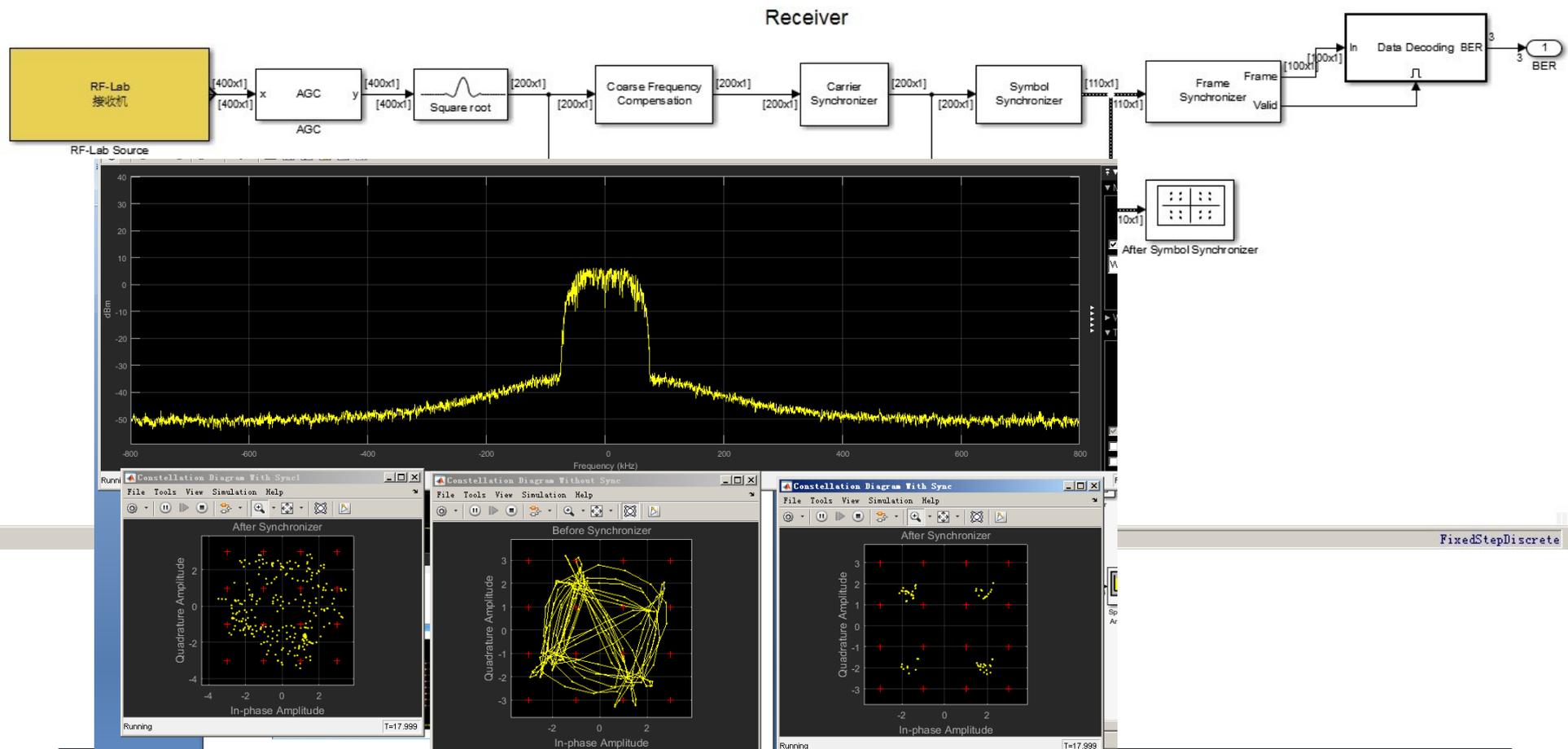
EVM RMS: 6.038%

Data from warm-up period ... More>>

QPSK 接收机实验

使用 MATLAB SIMULINK 搭建 QPSK 解调接收系统

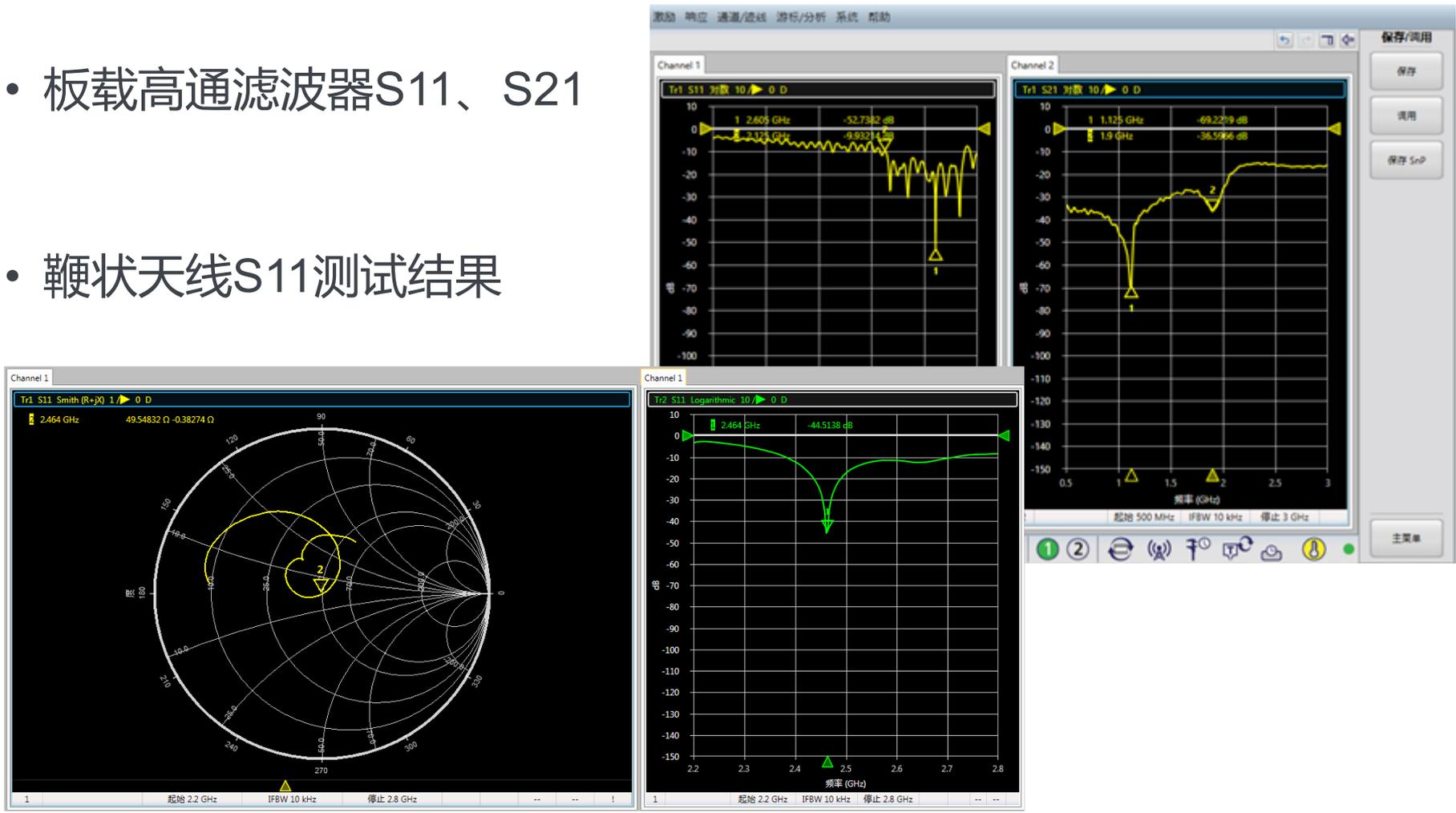
- Simulink 下 QPSK 接收机的结构和解调结果



板载射频器件的测试

使用双端口矢量网测量板载滤波器、放大器、天线特性

- 板载高通滤波器S11、S21
- 鞭状天线S11测试结果



物联网创新测试实验内容

从直流到射频的完整测试训练

能源模块

- Li-Lion
- 3A电池
- 纽扣电池

电源管理模块

- AC-DC
- DC-DC/LDO
- Charger
- PMU
- 能源收集

物联网设备的组成:

- 能源模块
- 电源管理单元
- 无线射频单元
- 传感器单元



无线射频模块

- MCU
- Zigbe
- Wifi
- Lora
- BT

传感器模块

- 距离传感器
- 烟雾传感器
- 光传感器
- 心律传感器
- 温度传感器
- 角速度传感器

IoT 测试平台的搭建

核心六合一实验系统，组成从直流到射频的完整物联网实验平台



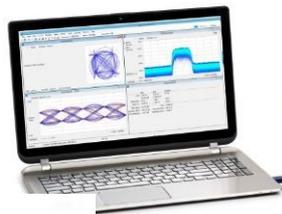
高精度源表



数字万用表



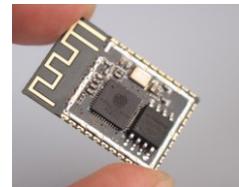
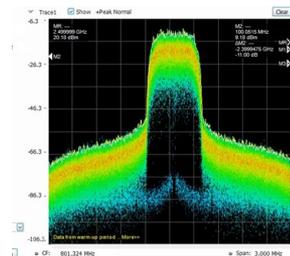
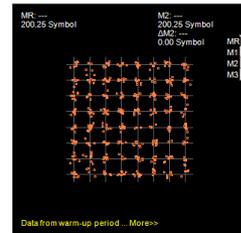
示波器



频谱分析仪
矢量信号源



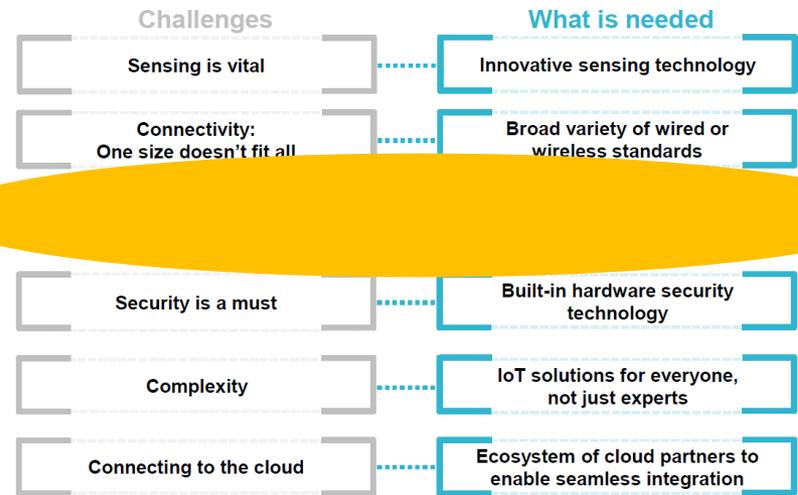
矢量网络分析仪



IoT 能源模块的测试

电池单元、能源采集单元、整机功耗的测试

- 能源模块用于为整个IoT设备提供电能
 - 物联网设备大量使用电池进行供电
 - 需要了解电池性能
 - 工业、农业IoT设备使用Energy Harvest技术
 - 使用能源采集技术提高设备的运行时间，需要测试能源采集回收的性能，可能涉及到光伏电池测试，压电材料测试等
 - 整机功耗测试是IoT设备的关键测试
 - 测量和优化功耗可以延长IoT设备的运行时间



TI公司关于 IoT 产品测试难点和需求的分析

低功耗测试在物联网行业

功耗测试是物联网产品测试中最重要的组成部分

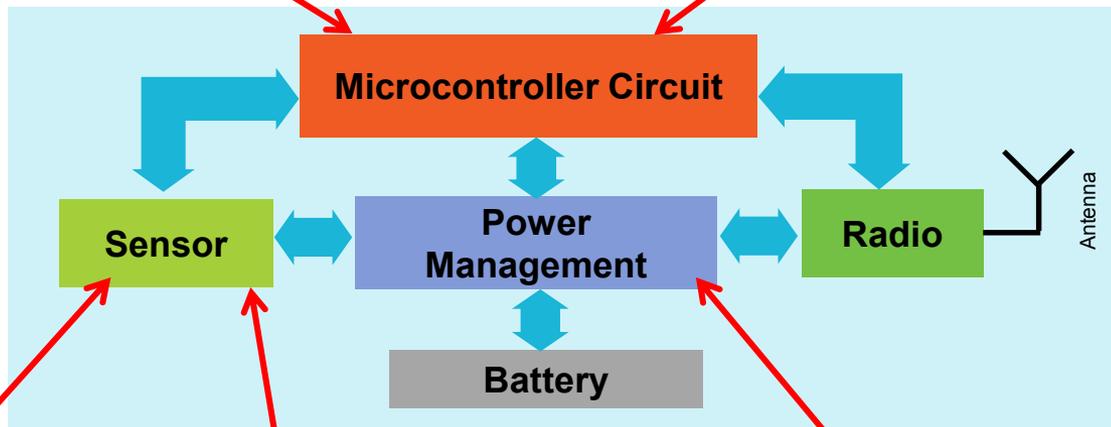
低功耗微处理器

- 深度睡眠模式: **100nA**
- 待机模式: **1 μ A**
- 工作模式: **35 μ A/MHz**

时钟芯片消耗电流: **240nA**

低功耗蓝牙芯片

待机模式下电流: **<100nA**
工作模式下电流: **<8mA**



传感器工作模式: **360nA**

放大器工作模式: **<1 μ A**

DC-DC转换器静态耗电: **680nA**

IoT 功耗分析测试

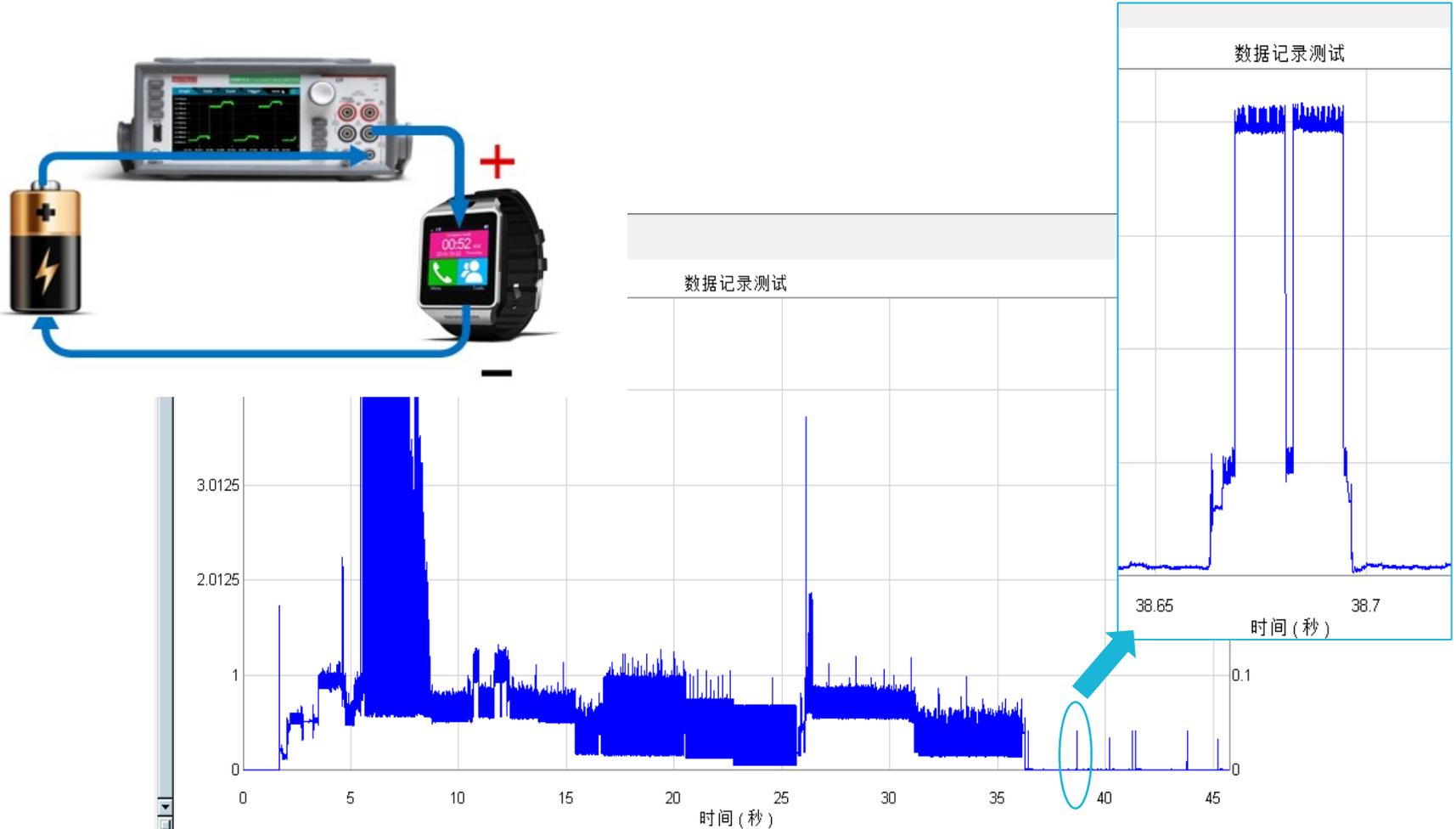
是用高精度万用表测试IoT设备的直流功耗特性

测试难点	测试方法
直流功耗极低，工作状态下mA级电流，待机状态下uA级电流，深度睡眠可能下降到1uA以内，芯片和元器件的待机功耗测试可能低至nA级	DMM7510 提供最高 100pA 测试精度
因为IoT设备工作状态负载，电流变化速度快，可能产生瞬间的电流脉冲，电流脉冲变化速率在几十 KHz，脉冲宽度在ms级以下	DMM7510提供最高1MSa/s采样率，进行直流电流采样，可以快速捕捉到高速变化的电流脉冲，帮助查找故障电流
辅助数据计算分析功能，需要提供平均电流值，最大/最小电流值，电流计算，CCDF分析功能	DMM7510 提供USB/GPIB/LAN编程接口，可以方便电脑端的数据获取和编程控制



典型的IoT功耗测试方案

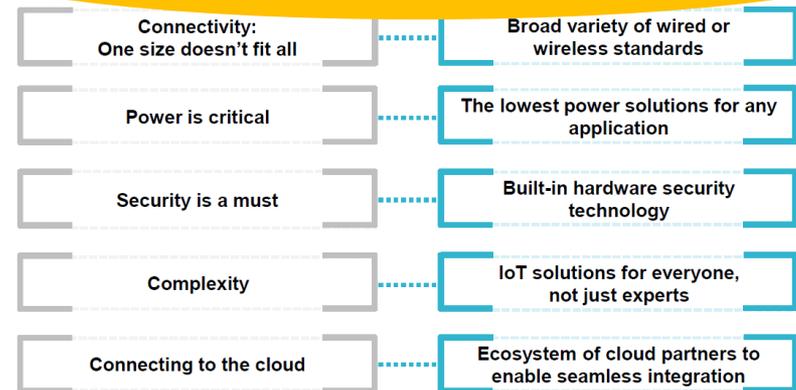
从纳安到安培级电流的快速采集和测量



IoT 传感器单元的测试

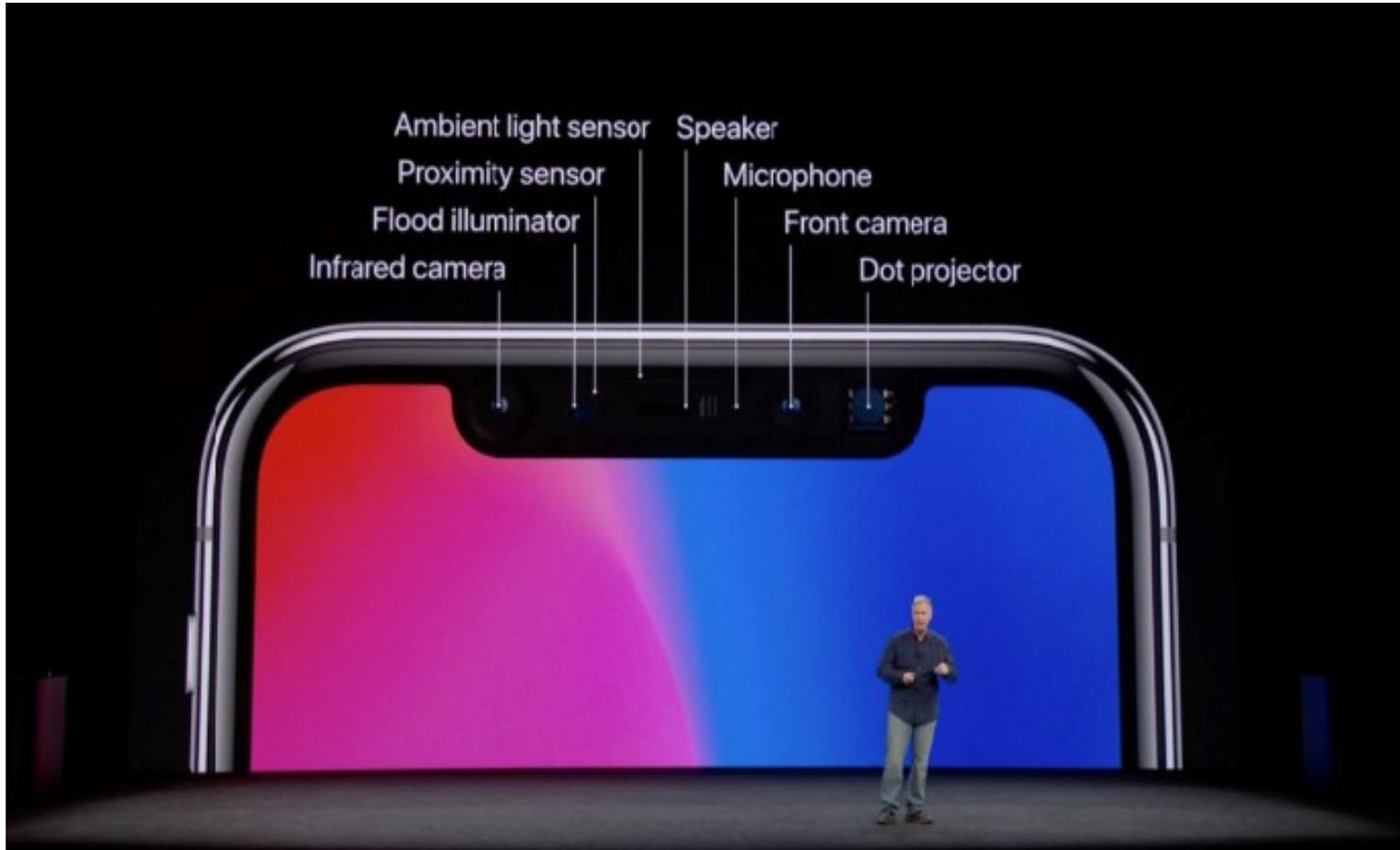
力、光、振动、流体传感器的测试

- 传感器可以将物理信号转化为电信号进行测试
 - 光电传感器
 - 将光学信号转化为电学信号，可以传输数据，测试距离，手势识别，3D成像
 - 霍尔传感器
 - 根据霍尔效应，测试位移，速度，转速，转数等信息



VCSEL 3D 传感器测试

代表产业热点和未来发展方向

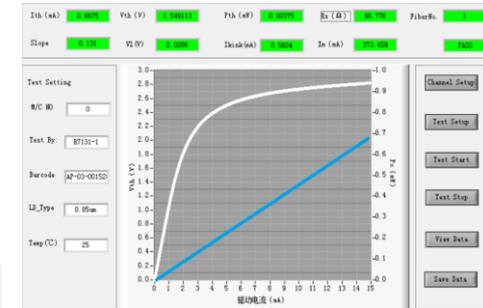
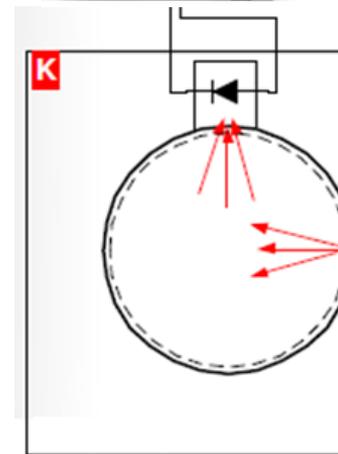


IoT 传感器单元的测试

光电传感器的测试

- 光电传感器被广泛应用于新一代的手机和物联网设备中，用于进行距离测试测，手势识别和3D成像
- 光电传感器测试平台：
 - 源表，光积分球，高精度电流表，上位机和软件
- 需要测试的主要参数：
 - 驱动电流 I ,正向压降 V_f
 - 光功率 P_o
 - 阈值电流 I_{th}
 - 拐点 I_{kink} ,背光电流 I_{dark}

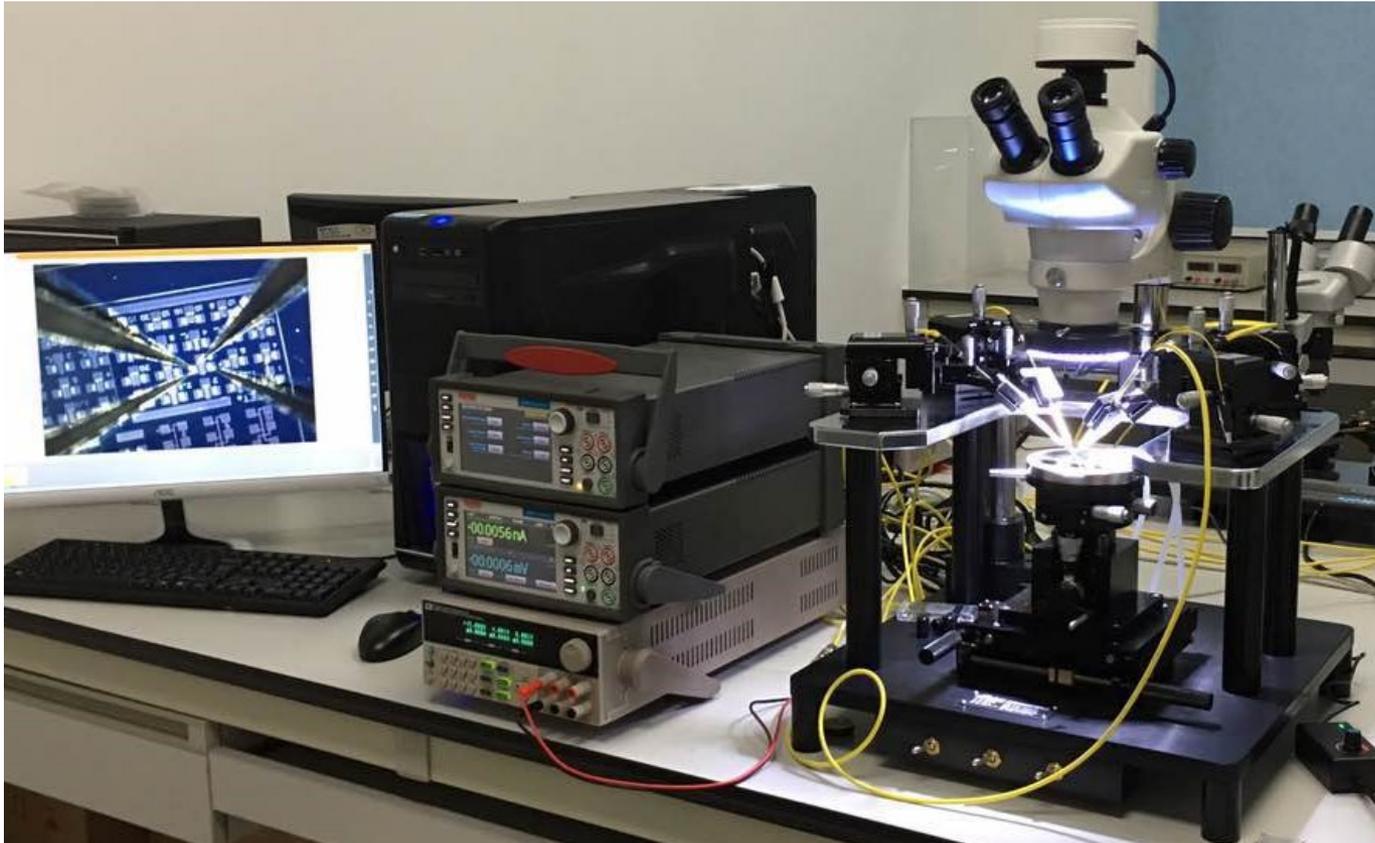
高精度万用表



高精度源表

半导体器件\材料\微电子实验室

丰富的课程实验解决方案，将先进的微电子测试测量技术带入教学实验室



本科生微电子器件及材料实验室建设

□ 本科生微电子器件及材料实验主要专业课程设置

- 《半导体物理》，《半导体器件物理》，《集成电路工艺原理》等。《微电子器件及材料测试实验》配合《半导体器件物理》和《集成电路工艺原理》，使学生掌握必要的半导体器件和工艺测量的测试原理和方法。

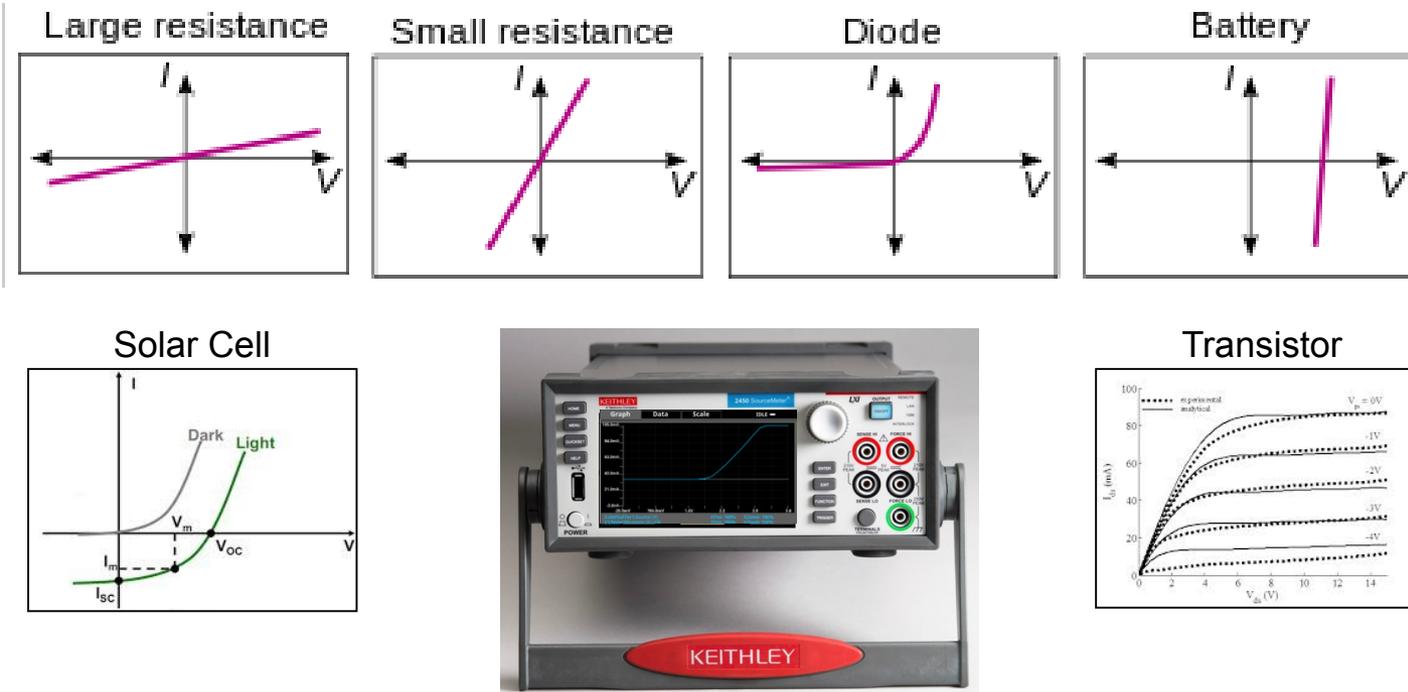
□ 本科生微电子器件及材料实验目的

- 通过实验动手操作，加深对半导体物理理论知识的理解，掌握半导体材料和不同器件性能的表征方法及基本实验技能，培养分析问题和解决问题的能力。

□ 本科生微电子器件及材料实验目录

- 实验一：金属-氧化物-半导体场效应晶体管特性IV特性测试实验
- 实验二：四探针法测量半导体电阻率测试实验
- 实验三：MOS电容的准静态CV特性测试实验
- 实验四：半导体霍尔效应测试实验实验
- 实验五：激光二极管LD的LIV特性测试实验
- 实验六：太阳能电池的特性表征实验

源表SMU的功能：

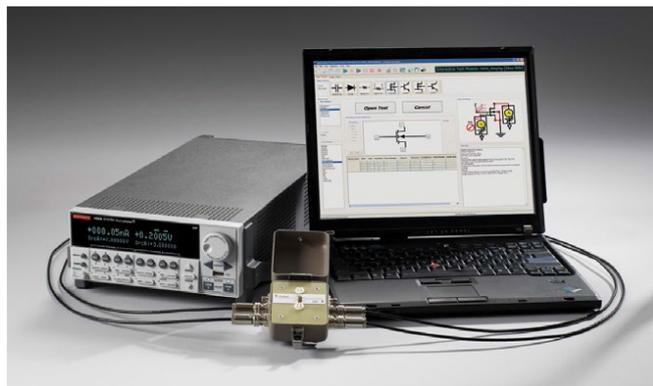


Keithley 提供了丰富的源表产品，覆盖不同功率范围，可用于研发、生产



本科生微电子器件及材料实验室测试平台

□ 本科生微电子器件及材料实验测试基础平台和升级选件



微电子器件及材料实验室基础平台：
手动探针台，软件，线缆，夹具盒



微电子器件及材料实验室升级选件：
电源，LCR表，高低温箱，真空泵，
光源，积分球

附录一：金属-氧化物-半导体场效应晶体管特性IV特性测试实验

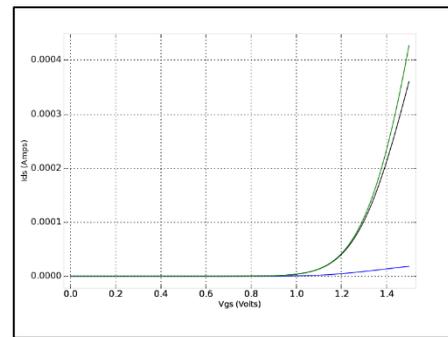
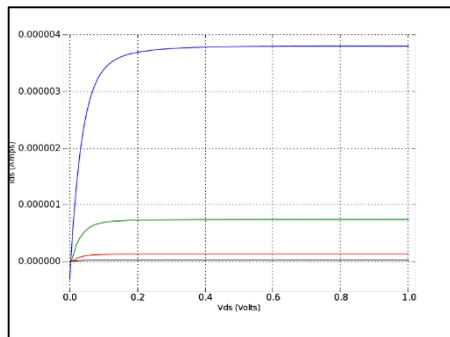
□ 实验目的

- 掌握MOSFET的输入特性测试及分析方法
- 掌握MOSFET的输出特性测试及分析方法
- 学习利用MOSFET的电学特性曲线求解各种参数

□ 实验原理

- 金属-氧化物-半导体场效应晶体管(MOSFET)是集成电路中特别重要的元器件。通过对MOSFET的直流输入特性、输出特性等电学特性测试，可以推算出器件的阈值电压、导通电阻、击穿电压、跨导等重要参数。

□ 实验设备和测试结果



附录二：四探针法测量半导体电阻率测试实验

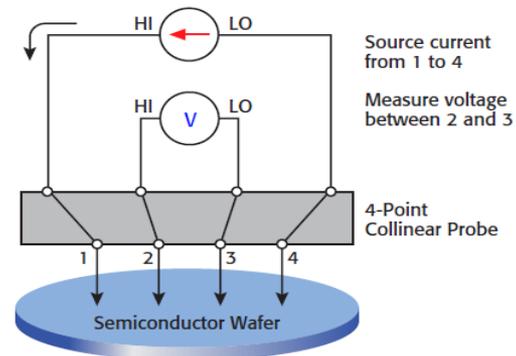
□ 实验目的

- 掌握四探针法测量电阻率和薄层电阻的原理
- 掌握四探针法测量电阻率和薄层电阻的测量方法

□ 实验原理

- 电流密度 $j = \frac{I}{2\pi r^2}$
- 电场强度 $E = j\rho = \frac{I\rho}{2\pi r^2}$
- 电阻率 $\rho = 2\pi S \frac{V_{23}}{I}$

□ 实验设备和测试结果



附录三：MOS电容的CV特性测试实验

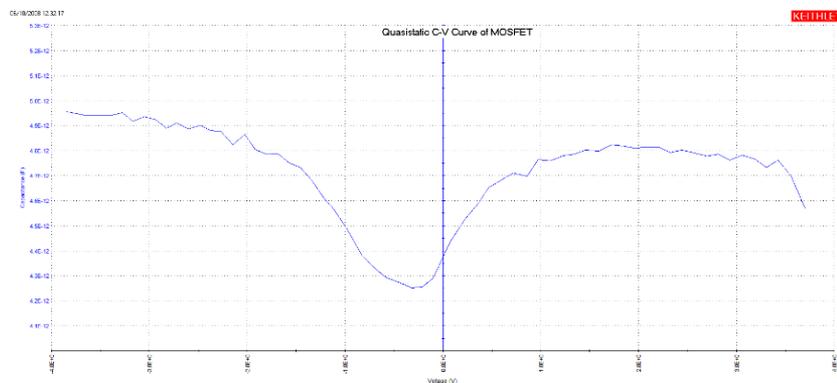
□ 实验目的

- 掌握准静态法测量界面态密度分布的原理
- 熟练掌握准静态C-V测量系统的使用方法
- 掌握源表+LCR表进行高频CV特性测试方法

□ 实验原理

- 通过测试MOS电容的高频和低频C-V特性曲线可以得到栅氧化层厚度、掺杂浓度、界面态密度、平带电容、平带电压等参数。

□ 实验设备和测试结果



附录四：半导体霍尔效应测试实验

□ 实验目的

- 理解和掌握霍尔效应的原理
- 掌握霍尔效应的测量方法
- 掌握霍尔效应的分析方法

□ 实验原理

- 霍尔系数的符号来判断半导体材料的导电类型，是N型还是P型；根据霍尔系数及其与温度的关系可以计算载流子的浓度，以及载流子浓度同温度的关系，由此可以确定材料的禁带宽度和杂质电离能；通过霍尔系数和电阻率的联合测量能够确定载流子的迁移率，用微分霍尔效应法可测纵向载流子浓度分布；测量低温霍尔效应可以确定杂质补偿度。

□ 实验设备和测试结果



附录五：激光二极管LD的LIV特性测试实验

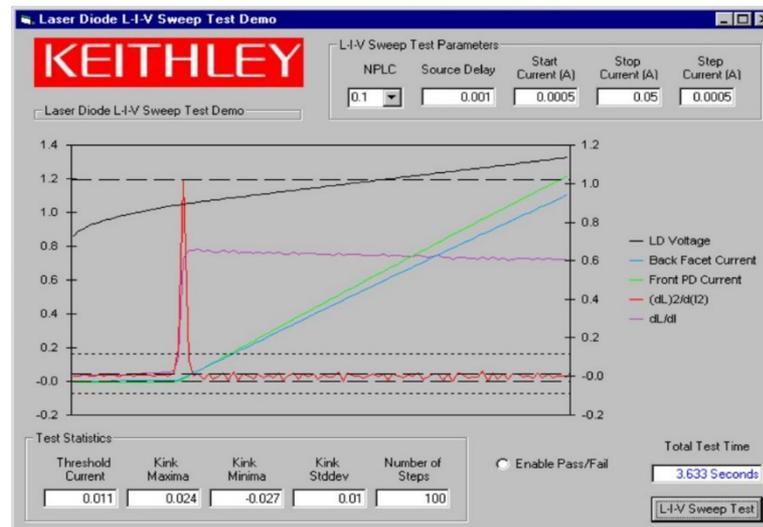
□ 实验目的

- 掌握激光二极管LD的基本原理
- 掌握激光二极管LD的测量方法
- 学习利用激光二极管LD的LIV特性曲线求解各种参数

□ 实验原理

- 半导体激光二极管（LD）或简称半导体激光器，它通过受激辐射发光，是一种阈值器件，适合于作高速长距离光纤通信系统的光源。一般用注入电流值来标定阈值条件，也即阈值电流。LIV特性是选择半导体激光器的重要依据。

□ 实验设备和测试结果



附录六：太阳能电池的特性表征

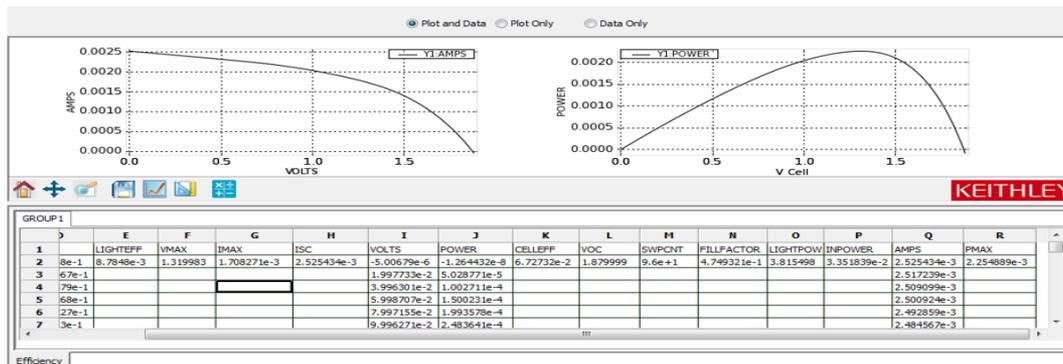
□ 实验目的

- 掌握太阳能电池的基本原理
- 掌握太阳能电池的特性测试及分析方法
- 学习利用太阳能电池的电学特性曲线求解各种参数

□ 实验原理

- 光能就以产生电子-空穴对的形式转变为电能。如果半导体内存在P-N结，则在P型和N型交界面两边形成势垒电场，能将电子驱向N区，空穴驱向P区，在P-N结附近形成与势垒电场相反的光生电场。若分别在P型层和N型层焊上金属引线，接通负载，则外电路便有电流通过。如此形成的一个个电池原件，把它们串联、并联起来，就能产生一定的电压和电流，输出功率。

□ 实验设备和测试结果



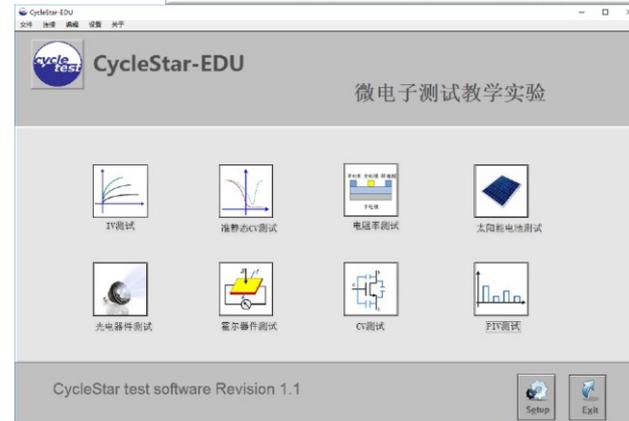
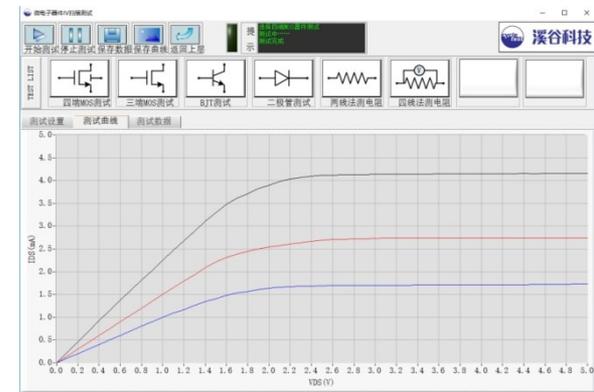
器件\材料\微电子实验室

丰富的测试软件和夹具附件



专门为本科微电子教学和科研开发的实验软件，支持多种类型的实验内容，配合吉时利测试仪表和丰富的测试夹具，使学生在学校就可以熟悉和掌握先进的测试手段

I-V/ C-V 测试是表征微电子器件、工艺及材料特性的基石。



泰克在产业和教育领域的积累

学习产业经验，为工科教学改革提供有力支持



将产业用户的应用方向和测试方法带入学校课堂
提高学生学习兴趣
培养学生解决复杂工程问题的能力

