

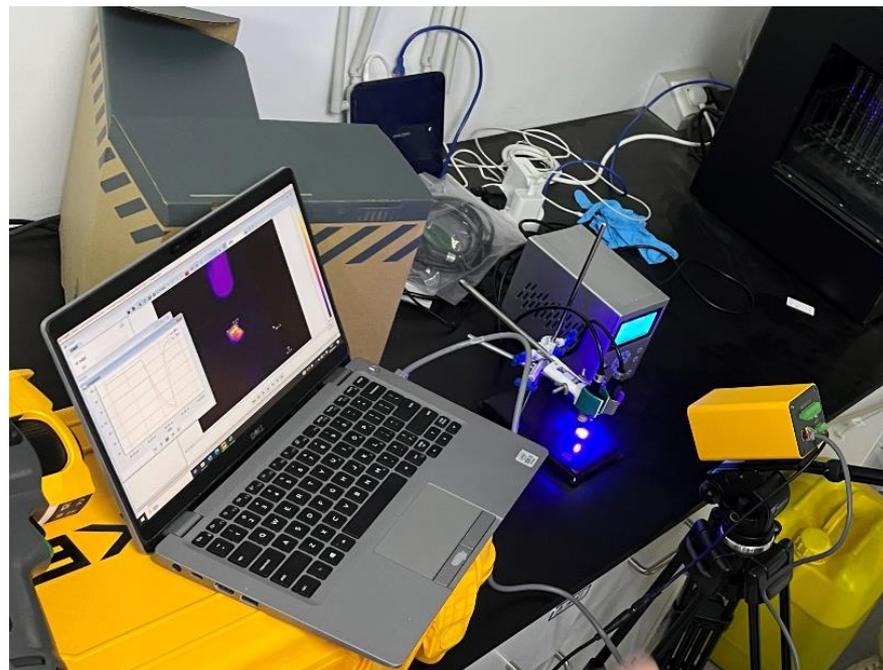
福禄克红外热像在电子研发领域的 应用及实操技巧分享

福禄克测试仪器（上海）有限公司

沈建祥



- 微小目标热分析要点及解决方案
- 热趋势分析要点及解决方案
- 长时间在线监控方案
- 准确测温的关键因素

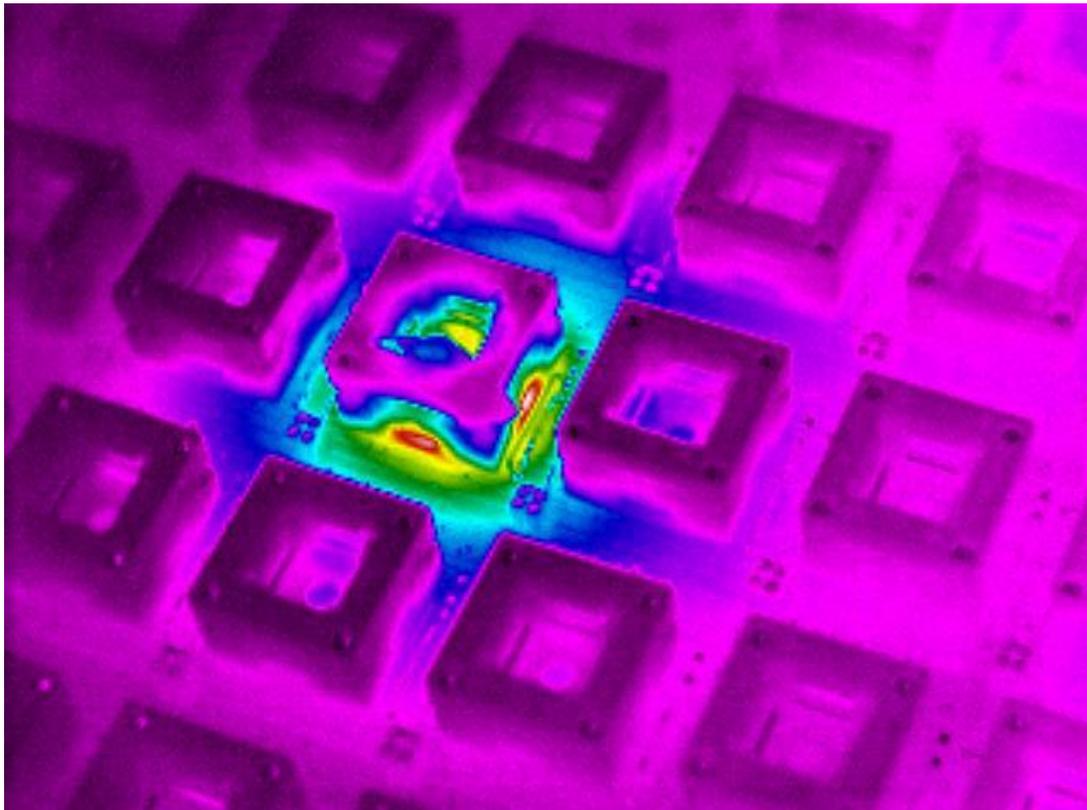


研发的经典案例 – “小” 无止境

FLUKE®

电子器件越来越小，检测难度越来越大

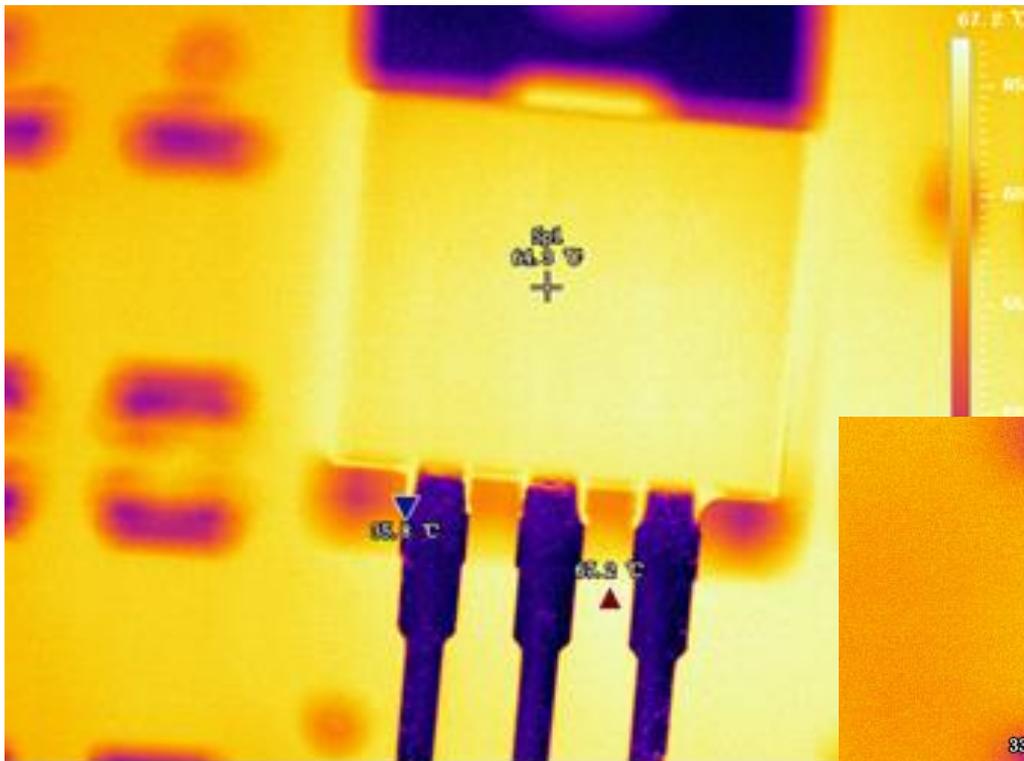
- 标准镜头通常最小能检测100微米大小的目标；
- 加装微距镜头是目前最好的解决方法；
- 最小能检测11微米，相当于1mm×1mm的区域内有8262个温度数据。



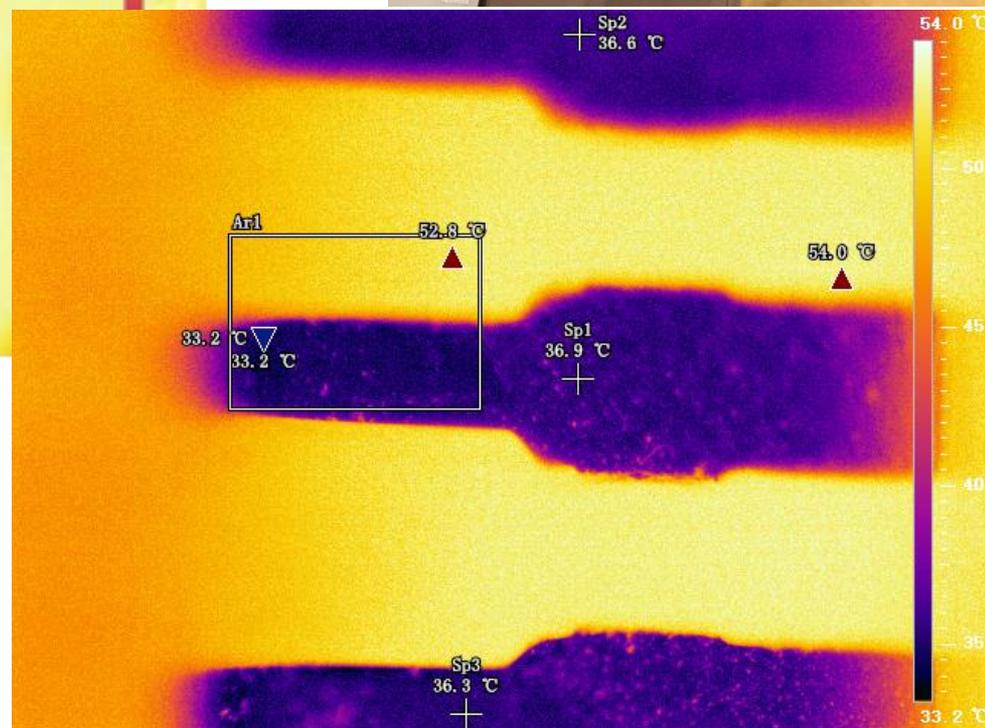
请注意微距镜头的拍摄距离限制

30微米和11微米的微距镜头

FLUKE



效果30微米



效果11微米

自动找寻表面的最高温度点

FLUKE®

检测目标:

烤面包机的外壳

检测要求:

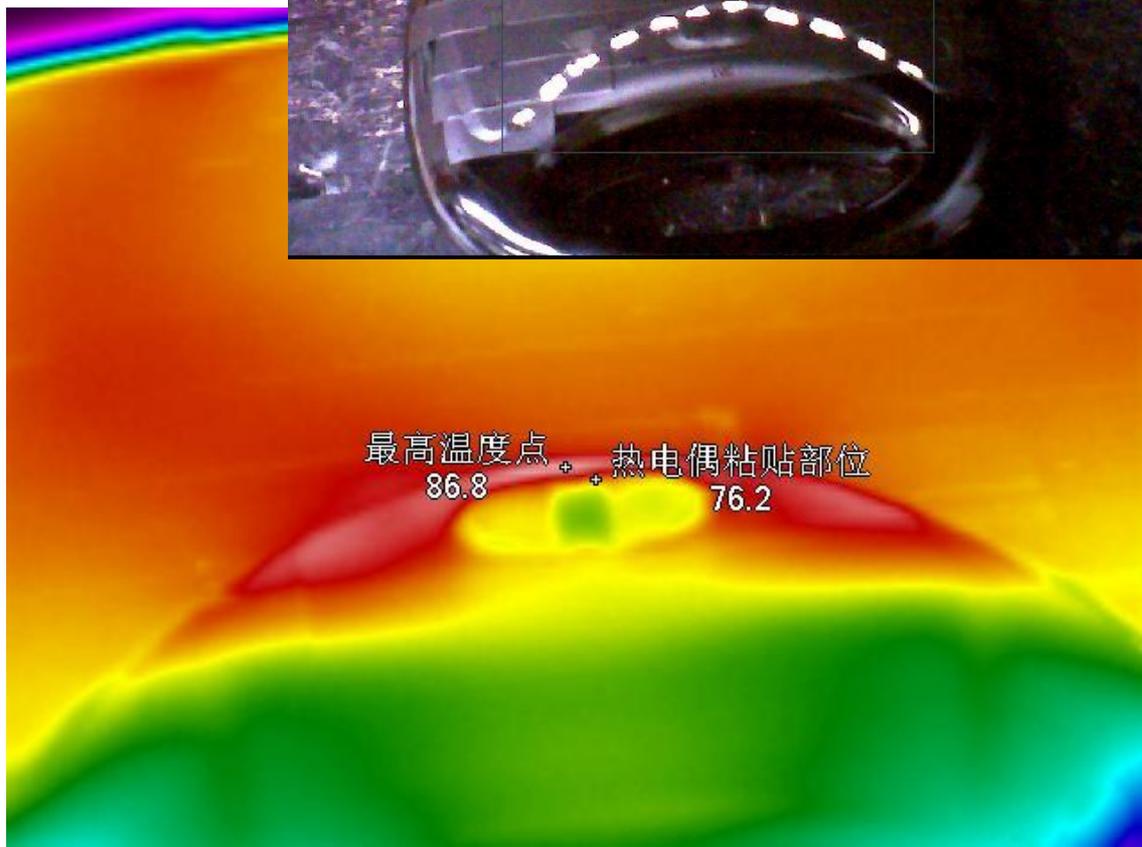
显示最高温度的位置和温度值。

问题:

与热电偶检测温度不一致，热像仪显示的最高温度比热电偶高 10°C 。

原因分析:

从热像图中可以看出，热电偶的位置与热像图上的最高温度的位置有偏差。



案例：微米级小目标（LED芯片）

FLUKE®

中心处为LED芯片

检测目标：

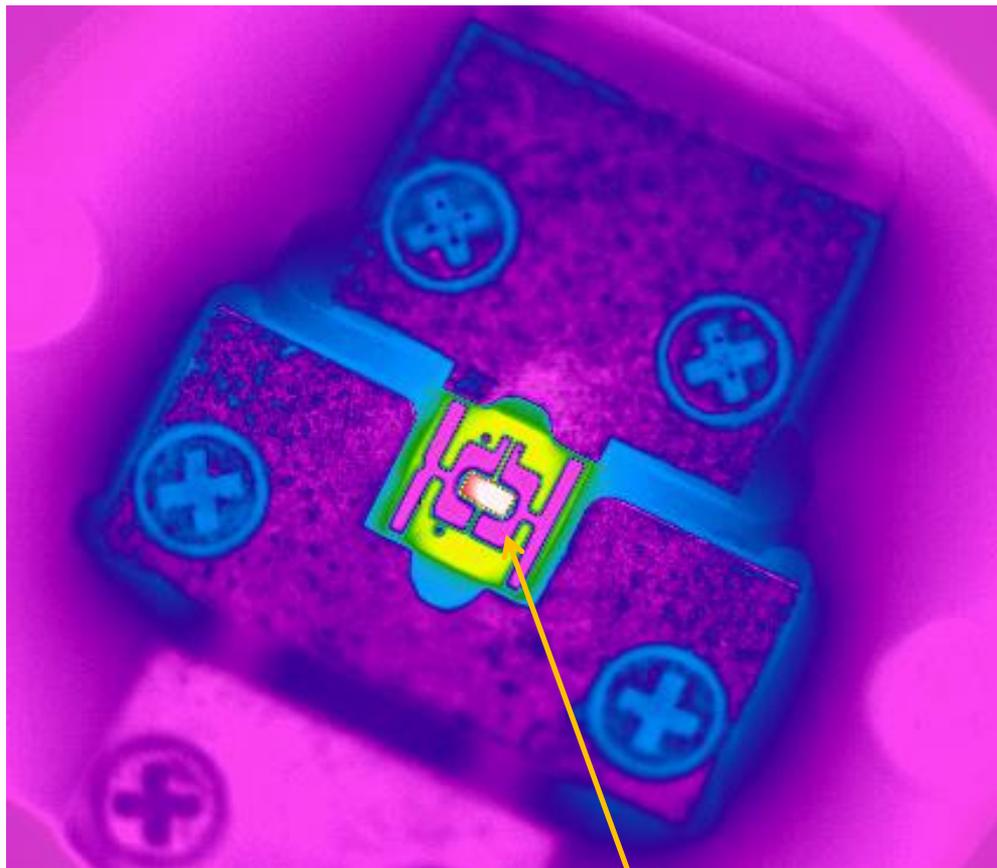
封装前的LED芯片，并加载不同的测试电流。

检测难点：

目标小：芯片的尺寸只有1.5mm，还需要能看到表面的温度差异，并能进行具体温度数据的分析。

解决方案：

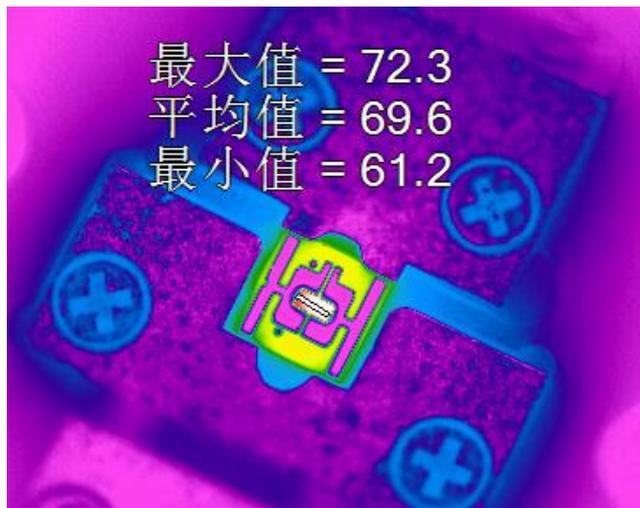
640像素热像仪+微距镜头
+二维可调精密位移云台



从热像画面可清晰看出，芯片的左右侧温度不均匀，研发人员可以此为依据，改进器件材料和散热设计。

案例：微米级小目标（LED芯片）

在软件上进行温度分析



在软件上对芯片的进行线温度分析，并可方便地导出温度数据，进行后期分析。

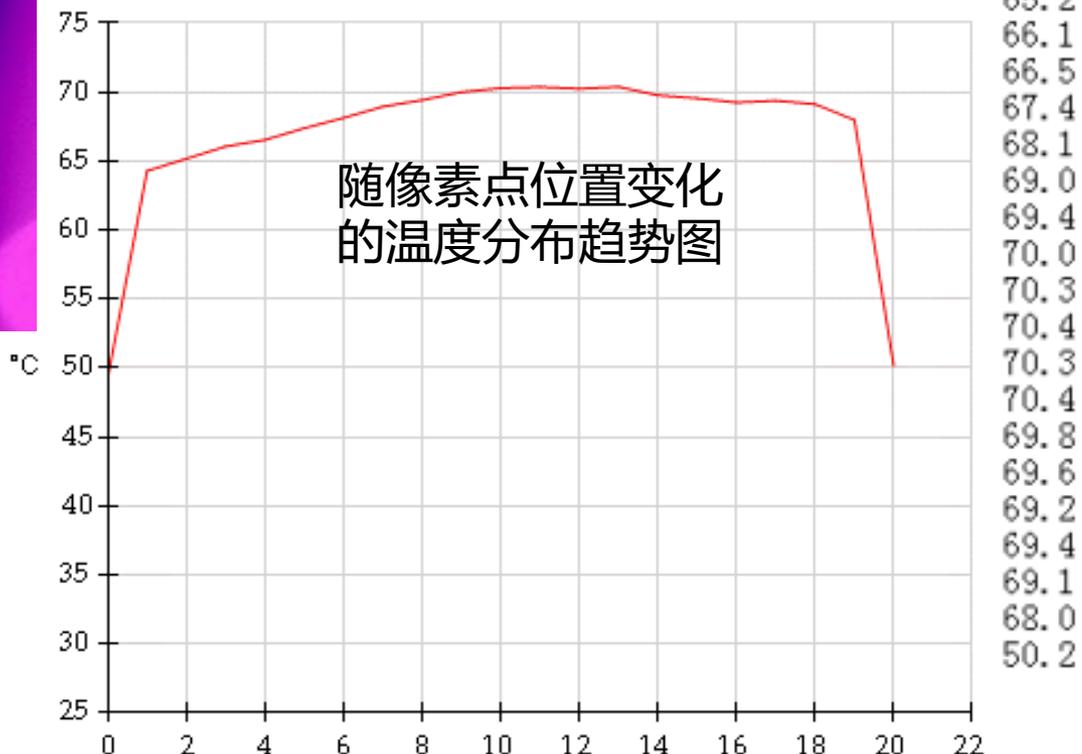
AB012703 - 记事本

文件(F) 编辑(E) 格式(O) 查看(V) 帮助(H)

所有以 °C 为单位的温度。

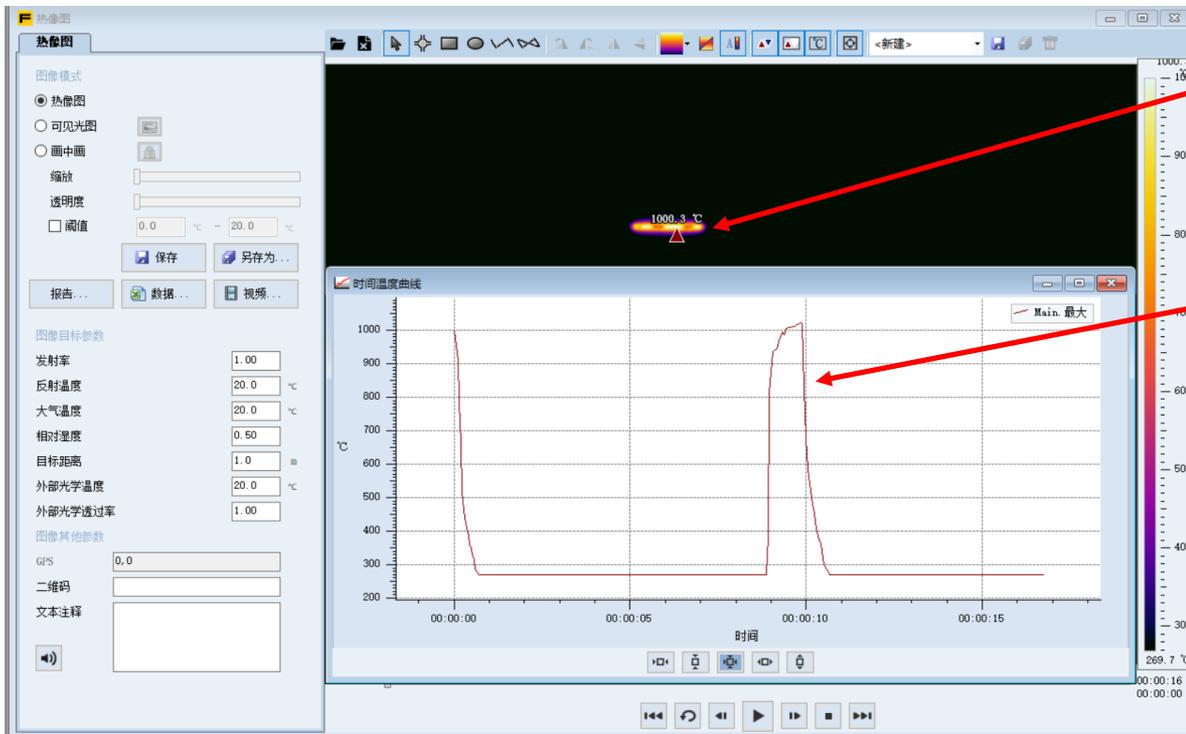
标签	发射率	背景	平均值	最小值	最大值	点
L0	0.95	20.0	68.8	51.7	72.4	49.3

在TXT文档上导出的温度数据



软件的作用

- 热像图分析（画面修正、标记点、参数修正、报告导出等）
- 连续温度数据分析：实时温度趋势图，全辐射视频记录，时间-温度数据表下载



激光加热点

加热点上最高温度的趋势图

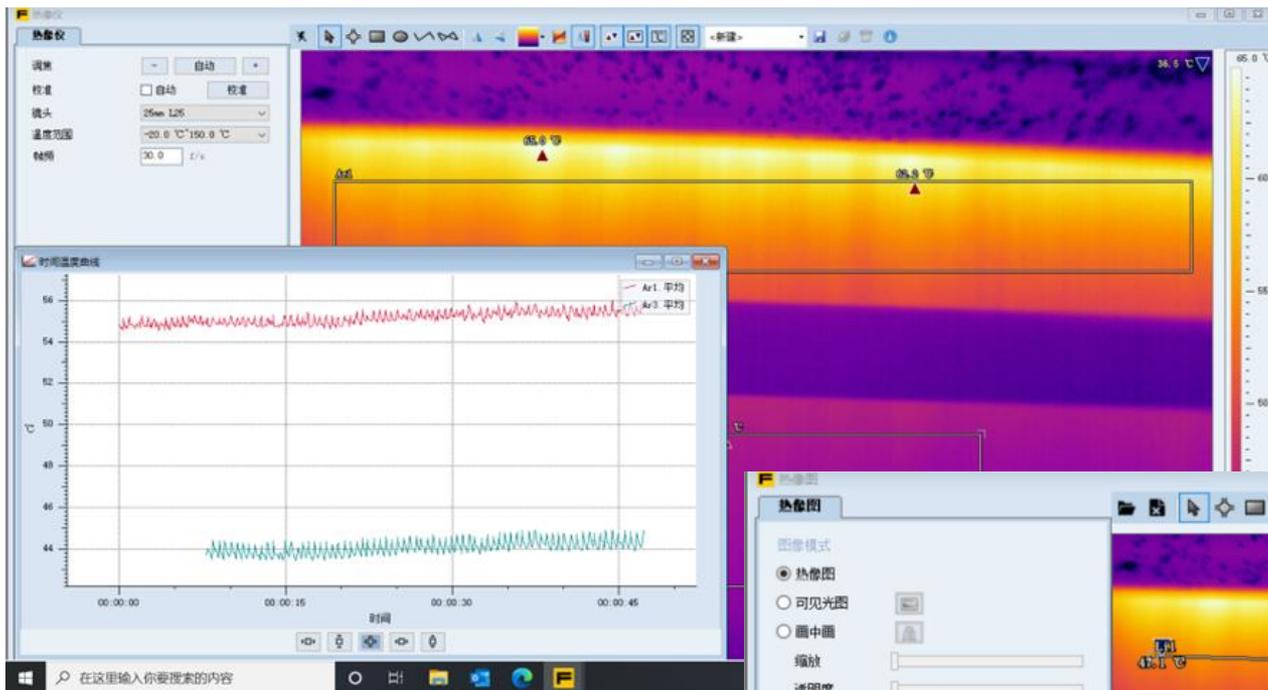
导出的时间和温度表格

时间	Main.最大 (°C)
8.87	269.7
8.914	384.3
8.955	814.1
9	874.9
9.042	934.8
9.08	938.6
9.12	942.5
9.168	944.7
9.217	967.4
9.258	981.1
9.283	987.5
9.32	993.4
9.365	986.4
9.4	996.4
9.435	1006.4
9.496	1009.2
9.548	1009.2
9.61	1011.2
9.649	1012.8
9.692	1013.7
9.73	1015.5
9.785	1019.3
9.832	1021.8
9.878	1020
9.916	927.2
9.953	826
9.995	677

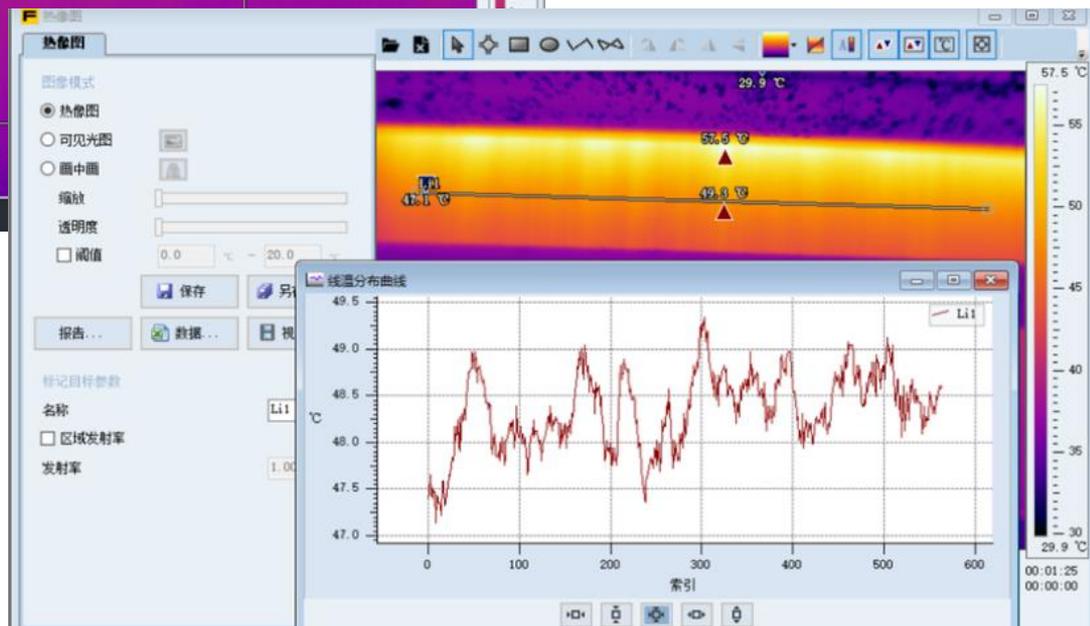
温度趋势分析和温度分布分析

FLUKE

对目标上、下部分的平均温度进行趋势分析



对目标的温度分布进行分析



案例：液晶屏坏点检测

FLUKE

检测目标：

平板电脑及手机液晶屏，检测液晶屏上的坏点，坏点由于内阻较高呈现微量的热点。

检测难点：

- 1、目标小，液晶屏像素点最小仅为40微米。
- 2、温差小，问题点的最小温差仅为 0.05°C 或更小。

解决方案：

640像素热像仪+微距镜头+二维可调精密位移云台

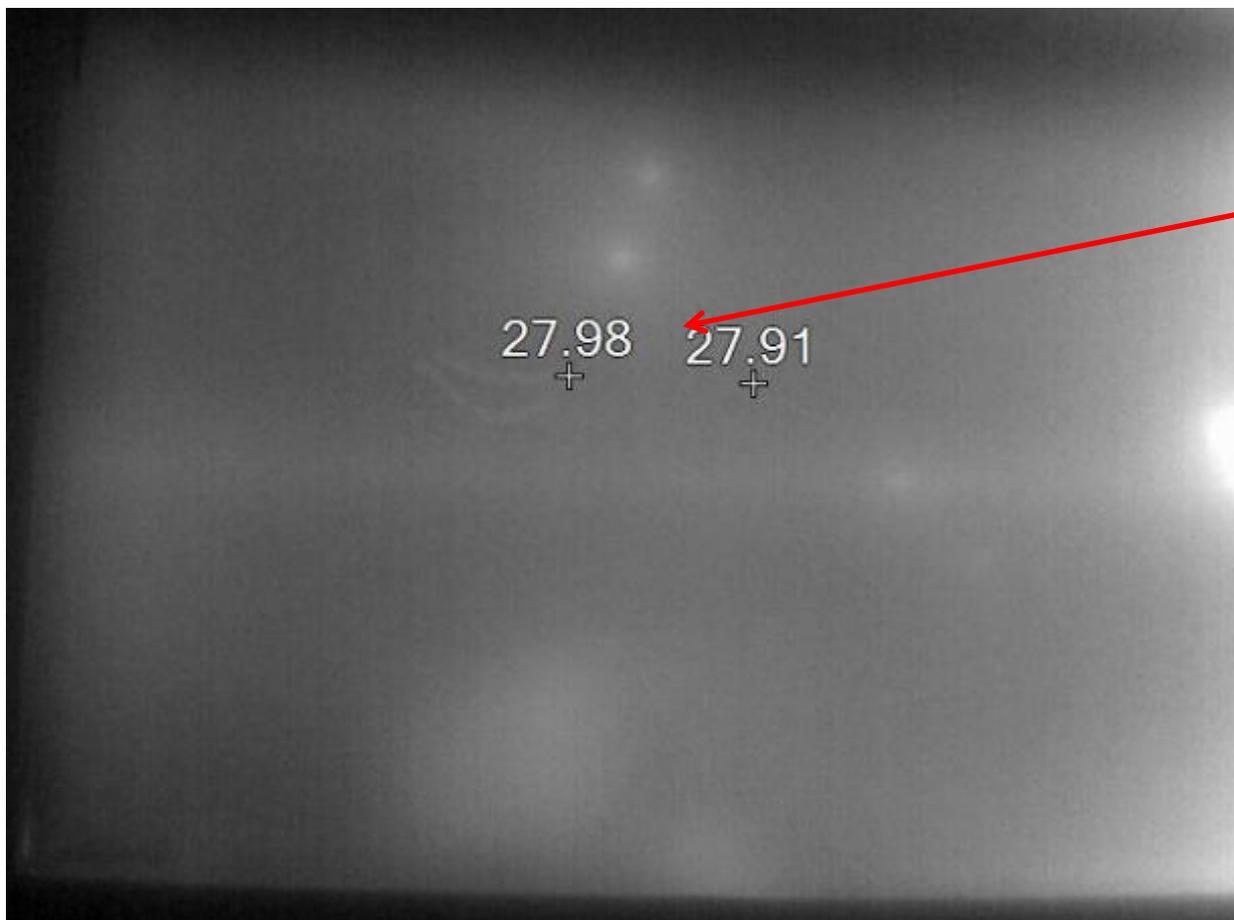


液晶屏面板上清晰可见3个坏点（红圈处），但问题不仅在于3个坏点。

案例：液晶屏坏点检测

FLUKE

➤ 小温差是检测难点。



三角形边框区域与正常部分温差仅为 0.08°C ,

热灵敏度是衡量热像仪检测小目标的能力, 目前640像素热像仪热灵敏度为 0.05°C , 最高可达 0.03°C 。

案例：芯片晶格检测

FLUKE®

检测目标：

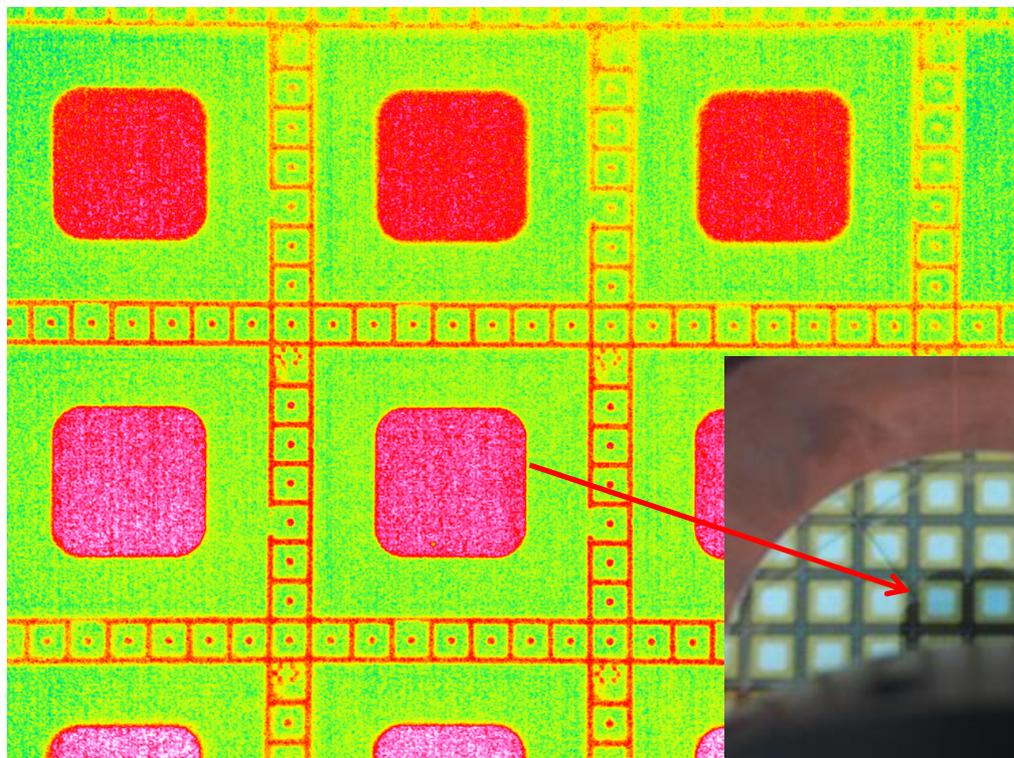
最小尺寸在50微米以内的芯片晶格。

检测难点：

- 1、目标小。
- 2、现场有红外窗口，无法贴近检测，普通的微距镜头不能使用。

解决方案：

640像素热像仪+
长焦镜头+二维可
调精密位移云台



长时间在线监控方案

FLUKE®

类别	名称	说明	备注
硬件	镜头	2倍长焦	
		2倍广角	
		微距镜头1	效果为30微米
		微距镜头2	效果为11微米
		4倍长焦	
		4倍广角	
	保护和安装附件	环温保护套 (气冷/水冷)	标准镜头, -40-170°C
		防护套 (防水、防尘)	含红外保护窗
		防爆 (隔爆) 保护套	
		可调安装支架 (配保护套)	
		空气吹扫器	
		台式可调安装支架	安装热像仪本机
		红外保护窗	Ge锗镀膜 (Φ42×3)
	电源	独立电源或PoE电源	
	控制输出	固态继电器	输出开关量信号
光耦继电器		输出开关量信号	



如何提高红外热像检测准确性？

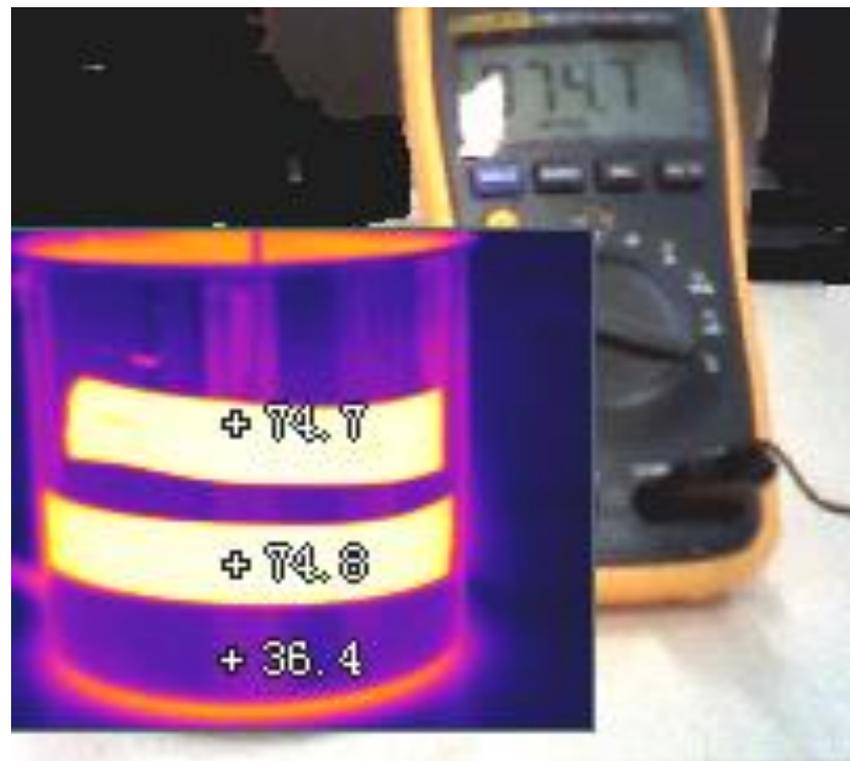
在现场检测中，可能会出现红外测温仪器与实际被测目标温度不相符的情况，如果可以排除仪器本身的故障，其问题基本由下列两个原因导致：

- **发射率的修正**
- **避免反射及背景温度补偿**

发射率是造成红外测温误差的主要原因

FLUKE®

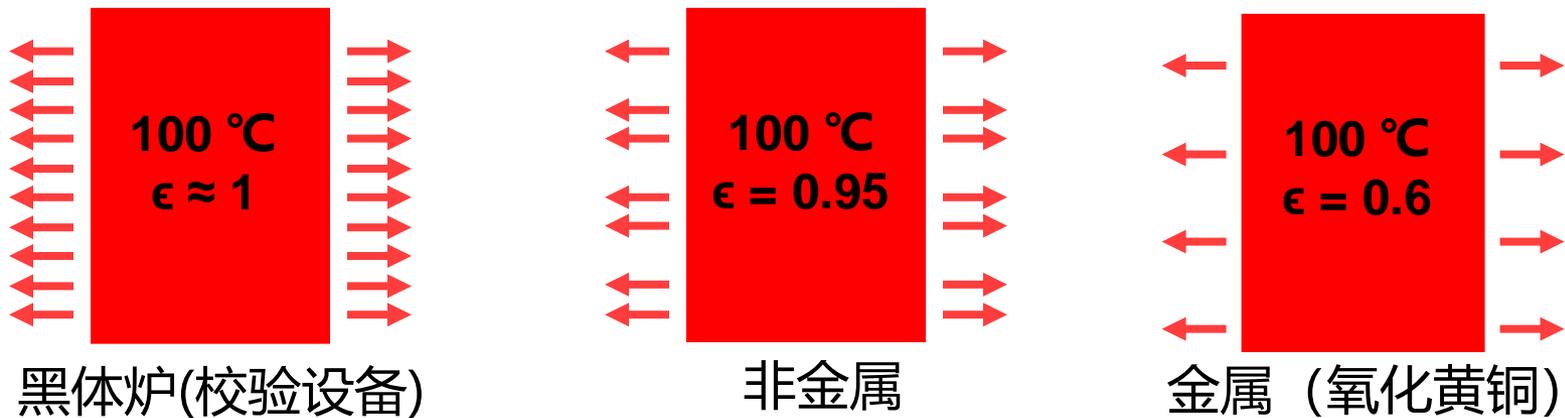
- 不锈钢杯子上的温度一致吗？不同颜色的胶带温度一致吗？



- 发射率是指物体表面辐射出的能量与相同温度的黑体辐射能量的比率。（黑体是一种理想化的辐射体，可辐射出所有的能量，其表面的发射率为1.00）

发射率：材料是影响发射率的主要因素

- 检测的目标分为非金属和金属材料两大部分；
- 大多数非金属材料（如塑料、油漆、皮革、纸张等）发射率为0.95左右，相同材质、不同颜色的目标其发射率非常接近；
- 自然界中皮肤的发射率最高，为0.98。



非金属的发射率与默认设置值0.95比较接近

- 黑体 0.98–0.99
- 皮肤 0.98
- 沸水 0.98
- 电气胶带 0.95
- 漆 0.90–0.95
- 纸标签 0.90

金属材料的发射率设定比较复杂

- 材料：不同材料发射率不同，如铜的发射率一般比铝高。
 - 表面光洁度：表面粗糙的材料发射率比光洁表面高。
 - 表面颜色：以黑色为代表的深色系表面发射率比浅色系高。
 - 表面形状：表面有凹陷、夹角或不平整规则的部位发射率高。
-
- 发射率是造成测温错误的主要原因之一，发射率的设置与目标不符，会造成测温偏差。
 - 如检测加热的钢铁，若用默认设置值0.95，测温则会偏低。
 - 发射率可在热像仪或软件上进行修正。
 - 对高温目标，发射率往下调，温度上升。

如何设置发射率

- 对表面做非金属化处理
 - 涂漆
 - 贴胶带
 - 涂导热硅脂
- 修改发射率，软件内可对局部部位单独修改发射率。
- 对于无法进行处理，表面光亮的金属，使用空腔效应进行检测。

DL/T664-2016标准

FLUKE®

ICS 29.240.99
L 52
备案号: 57160-2017

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 664 — 2016
代替 DL/T 664 — 2008

带电设备红外诊断应用规范

Application rules of infrared diagnosis for live electrical equipment

附录 D

(资料性附录)

常用材料辐射率的参考值

常用材料辐射率的参考值见表 D.1。

表 D.1 常用材料辐射率的参考值

材 料	温度 ℃	辐射率近似值
抛光铝或铝箔	100	0.09
轻度氧化铝	25~600	0.10~0.20
强氧化铝	25~600	0.30~0.40
黄铜镜面	28	0.03
氧化黄铜	200~600	0.59~0.61
抛光铸铁	200	0.21
加工铸铁	20	0.44
完全生锈轧铁板	20	0.69
完全生锈氧化钢	22	0.66
完全生锈铁板	25	0.80
完全生锈铸铁	40~250	0.95
镀锌亮铁板	28	0.23
黑亮漆 (喷在粗糙铁上)	26	0.88
黑或白漆	38~90	0.80~0.95
平滑黑漆	38~90	0.96~0.98
亮漆 (所有颜色)	—	0.90
非亮漆	—	0.95
纸	0~100	0.80~0.95

- 发射率较低的测量目标可以反射来自附近的背景能量，这部分额外的反射能量会被添加到测量目标自身辐射的能量中，使热像仪读数不准确。
- 位于测量目标附近的物体（设备、或者其他热源）的温度有时会比测量目标的温度高出很多。所以需要根据现场情况修正“背景温度补偿”来消除这部分干扰。
- 背景温度补偿也被称为“反射温度补偿”。



背景温度补偿如何修正

从斯蒂芬-玻尔兹曼扩展公式可以看出：

- 对于发射率较高的目标（通常为非金属物体），背景温度补偿设置不准确的影响会比较小，甚至小于0.1°C。
- 对于发射率较低的目标（通常为光亮金属表面），或背景温度较高的情况，必须准确设置背景温度补偿，否则会引起较大误差。

斯蒂芬-玻尔兹曼扩展公式：

$$Q = \sigma \times \varepsilon \times T_{\text{目标}}^4 + (\sigma \times (1 - \varepsilon) \times T_{\text{背景}}^4)$$

辐射

反射

Q: 热像仪接收的总能量
σ: 斯蒂芬-玻尔兹曼常量
ε: 发射率
T: 绝对温标

背景温度补偿设置的经验总结

➤ 科研研发和品质管理

- 尽量确保目标四周没有高温物体。
- 必要时用纸板、橡胶垫等做遮挡。
- 如果高温物体不能避免，需要确认反射角度后进行设置。
- 加热炉中的相对低温的目标，必须精确设置背景温度补偿。

➤ 设备维护

- 如果热像仪发射率设置为0.90或0.95，则背景温度一年设置4次即可，春秋20°C，夏季30°C，冬季-10°C/0°C等。
- 检测发射率设置低于0.5的金属时，需准确检测背景温度值

红外热像仪的透射

FLUKE®

仅少数材料可以透过红外能量，针对于8-14 μm 长波红外热像仪，能透过的材料通常有：

- 锗、硅（主要做红外镜片）
- 氟化钙、硫化锌、硒化锌（主要做红外窗口材料）
- 塑料薄膜（主要作为防尘、防水保护使用）



将塑料薄膜套在热像仪上进行检测



红外窗口安装在电气柜柜门上，热像仪可透过窗口检测内部设备

注意：

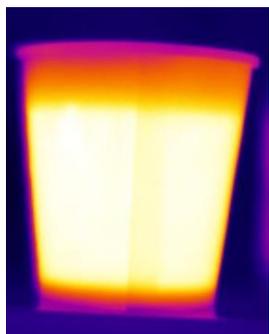
不论何种透红外材料遮挡在热像仪与目标间的光路上，必须设置透射率参数；若材料没有透过率参数提供，可使用无遮挡时测温与有遮挡时测温的温差进行透过率参数修正。若该热像仪没有透过率修正设置，发射率修正可起到相同的修正效果。

红外窗口的透射率设置



平面面源黑体炉

- 最好使用黑体炉，在有红外窗口的情况下，调节透射率，直至热像仪显示温度与黑体炉一致，该数据就是红外窗口的准确透射率。
- 如果没有黑体炉，可以根据现场目标的温度范围设置模拟热源，电气设备建议使用热水水杯（纸杯、水温70-90°C、尽量满杯），设置透射率方法同上。



电气设备维护现场若没有黑体炉，用热水杯也可



真空炉可以安装红外窗口吗？

FLUKE®



真空熔炼炉观察窗



模拟汽车内燃发动机的真空炉设备



Fluke标准红外窗口产品是为了中高压电气柜而设计，不能用于有正/负压的现场。

- 特殊定制具有一定厚度的红外窗口可以安装在真空炉（负压）或加热炉（通常有正压）；
- 红外窗口材料为氟化钙或硫化锌；
- 真空炉现场建议红外窗口厚度至少为10mm，窗口直径大于50mm厚度还要再增加2mm；
- 正压加热炉现场建议红外窗口厚度至少为6mm，可适用于压力不超过0.5MPa（常称为5公斤压力）的炉体，压力增加时红外窗口可增厚最大至20mm；
- 安装红外窗口后必须修正透射率参数；
- **强烈建议先用相似耐受力的光学玻璃，制作相同尺寸的窗口先行试验，看是否会碎裂，而后再定制红外窗口。**

*Keeping your world
up and running.®*

FLUKE®

谢谢!