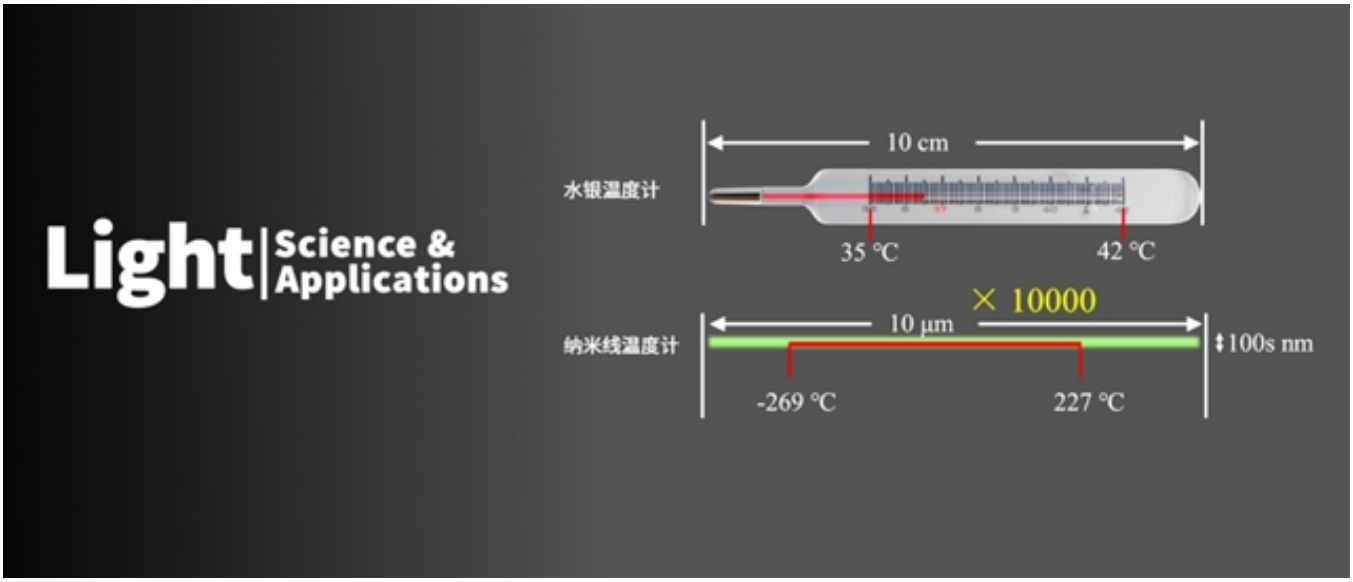
宁存政、梁璋等实现纳米尺度温度计

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/22407.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

宁存政、梁璋等实现纳米尺度温度计。



温度的测量，对于前沿科学研究，工业生产，以及个人和家庭生活等许多方面都极为重要。2020年以来，随着COVID-19对全球生产生活的影响，随时准确的测量温度更是成了每个人的日常生活的一部分。

传统的测温技术如水银温度计，热电阻技术，红外探测等由于要求接触式使用，测温精度和灵敏度，及测温范围等限制，无法满足许多场合的需要。近年来，基于镧系稀土元素的荧光温度测量技术成为一个越来越重要的温度测量手段。这种远程的光学温度测量技术已经在诸如细胞科学，活体生物学，集成光电子科学等诸多领域产生了举足轻重的影响。

镧系稀土元素丰富的原子能级提供了从紫外，可见，到红外的各种波段选择。而由于各能级的电子布局遵从著名的玻尔兹曼分布，各种波长发光强度的相对大小，非常灵敏的依赖于温度。因而我们可以从两个不同波长的发光强度比构建温度响应函数，然后利用光谱测量这种强度比来获得待测物体的温度。这便是新的荧光测温的基本原理。

尽管这个领域近来从材料到测量技术本身都在蓬勃发展，然而仍然存在缺憾和许多技术上的挑战。

其一是温区范围问题。由于不同波长强度比在不同温度范围内的温度依赖关系不同，因而测量的精度和灵敏度等变化较大，如果没有待测物体温度范围的信息，这种测温往往效果不理想。

其二是低温区的温度测量。众所周知，低温尤其是10 K以下的温度，对于前沿物理研究和很多现代技术应用尤为重要。但目前，基于玻尔兹曼分布的镧系元素光学温度测量技术并不能对这个温度段进行有效测量。其原因在于低温区要求能级间隔小，而目前传感器件所用的材料晶体质量较差，相应的线宽太宽，无法用于低温需要的小能级间隔情形。

其三表现在测温灵敏度上。测温灵敏度是光学温度测量技术最重要的一个技术指标，但目前大于100 % K-1的温度测量技术还未见报导过。

为解决上述问题，近日，清华大学电子工程系和深圳技术大学集成电路与光电芯片学院宁存政教授团队开发了一种可以按照不同测温需求，对目标测温参数进行自优化的单根合金铒纳米线温度传感器。

实现了4 K到500 K的宽温区测量。通过采集一帧光谱，可以构建很多个(如六个)温度响应函数，并通过计算机程序实现针对不同测温目标的自优化温度响应函数选择。这是首次将测温函数的自优化选择和荧光测温结合，保证了大温度范围的最优温度测量。

该成果以Self-optimized single-nanowire photoluminescence thermometry为题发表在Light: Science Applications。文章第一作者梁璋为深圳技术大学副研究员，其他作者包括清华大学博士生吴金华、工程师崔瑛和副研究员孙皓。宁存政为文章通信作者。

此次实验所用的发光材料系一种独特的稀土硅酸盐合金(铒氯硅酸盐， ECS)纳米线，宁存政团队在10多年前发现了这种高质量的单晶合金材料，此后对其进行了多方面的系统研究。

本次研究通过对生长工艺的不断优化，得到了接近完美的单晶纳米线，其极强的发光使得单根纳米线足以作为测温的荧光物质，同时高质量的材料发出的谱线极窄(如图1所示ECS纳米线的线宽可以窄至0.25 nm)，可以对极低的温度和很小的温度变化进行测量。

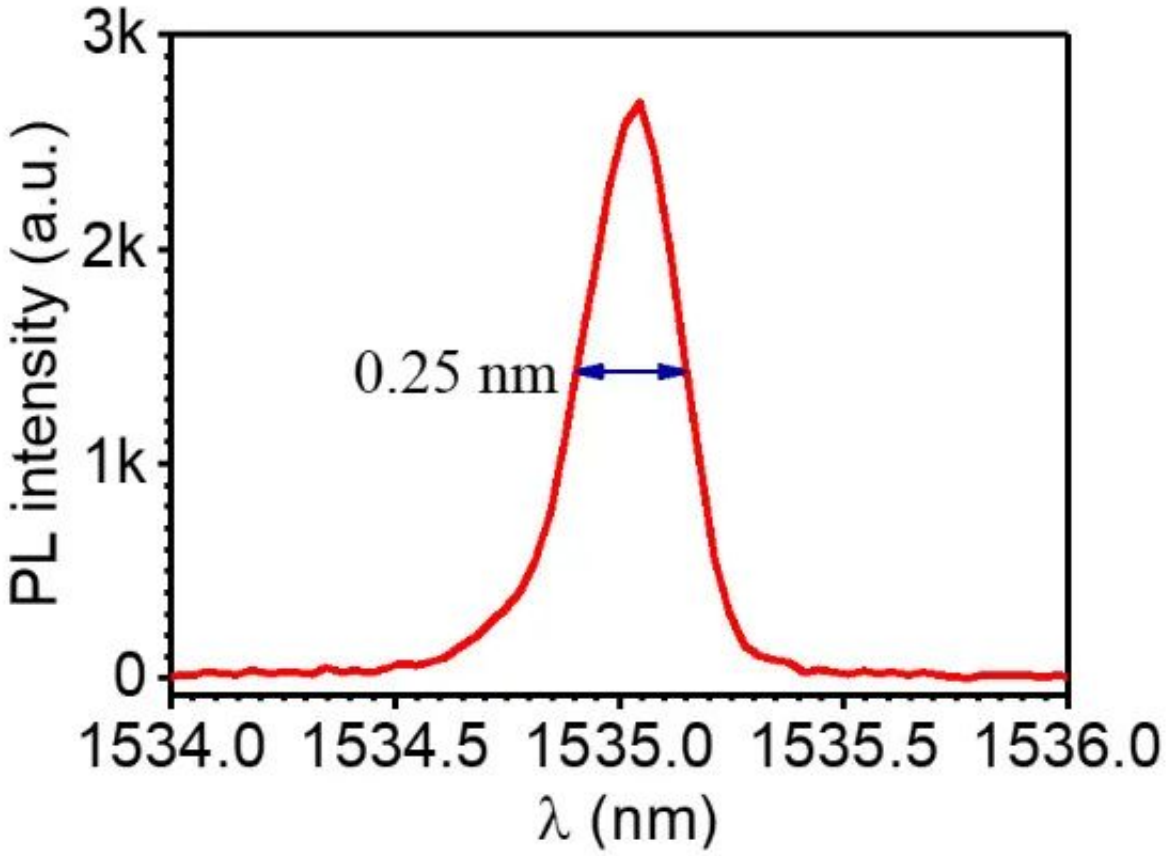


图1: ECS纳米线斯塔克劈裂的谱线之一，展示与其高结晶质量相应的极窄的线宽

得益于高晶体质量带来的窄线宽，研究团队利用斯塔克分裂的子能级相应的多个跃迁(如图2a 所示的E0-E6)构建了一系列温度响应函数(R1-R6)。在最低短至毫秒级的光谱采集时间内只需要采集一帧光谱就可以完整的构建所有温度响应函数，如图2b所示。

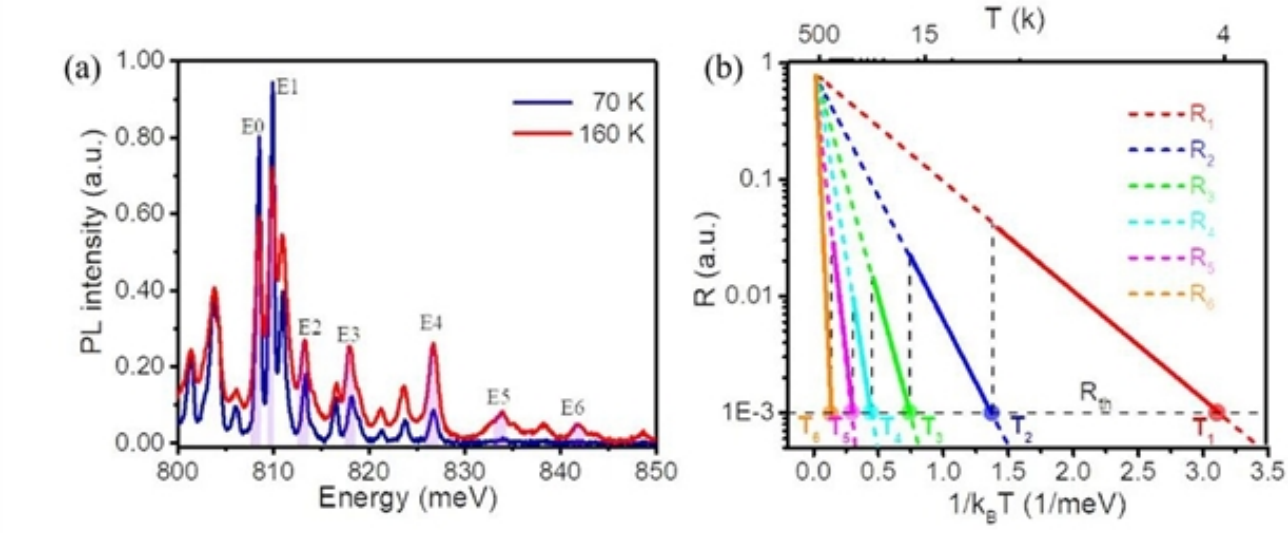


图2：(a)单帧采集的部分发光谱，相应的波长位于1530

纳米附近。(b)构建的六个温度响应函数随温度的变化

在构建完成六个温度响应函数后，研究团队以灵敏度为例，展示了如何通过简单的计算机程序实现4 - 500 K温度范围内对测温灵敏度的自动优化如图3所示。值得一提的是，研究团队在4 K时获得了138% K-1测温灵敏度，这也是首次在实验上实现突破100 % K-1的测温灵敏度。

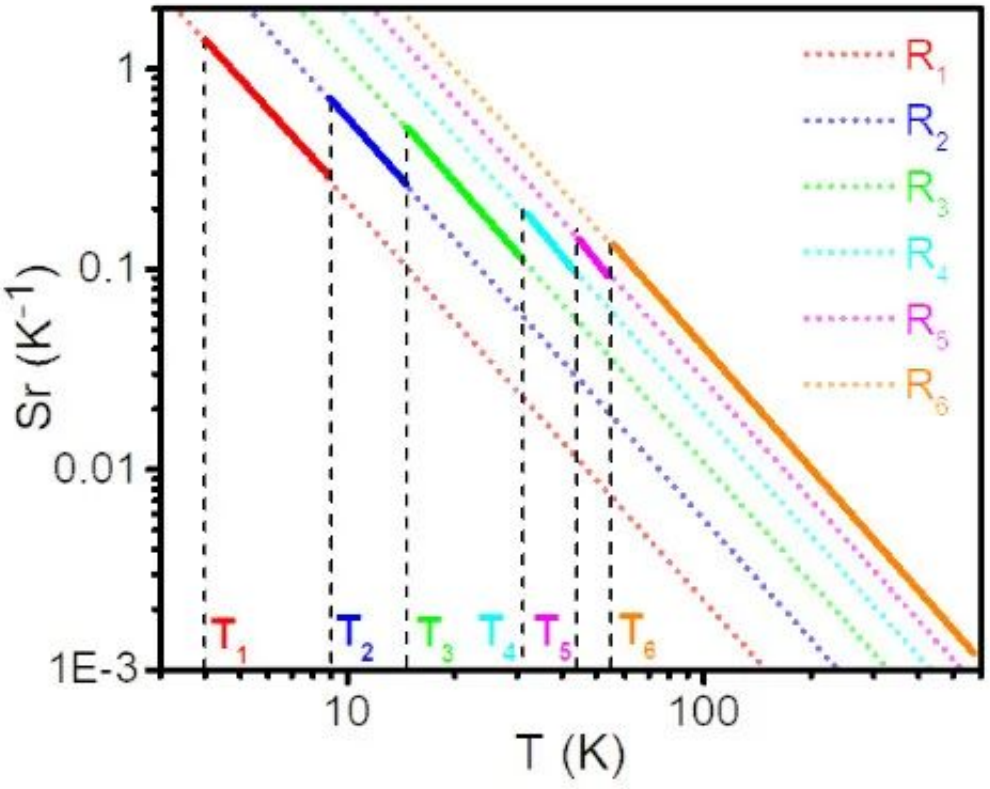


图3：与图2b中温度响应函数相应的测温灵敏度。在不同温度区间通过自优化选择相应的温度函数，可以保证灵敏度最高

利用这种铒合金纳米材料的另一个优势是波长在1530纳米附近的光谱窗口对应于光通信的C波段以及损耗极低的生物近红外光学窗口，对生物体的穿透深度较可见光大很多，因此该温度测量技术之后可能会在这两个领域产生重要影响。

目前绝大多数荧光温度传感器使用聚合或团簇的荧光粉末或纳米颗粒材料，与聚合相关的不均匀性会导致光谱展宽和不准确等问题，且不适合小规模目标的应用，而单根纳米线具有更好的操控性，结合其它研究组利用单个纳米线进行细胞内窥测量的工作，该温度测量技术有可能在单细胞温度学研究中产生重要作用，如图4所示。(来源：LightScienceApplications微信公众号)

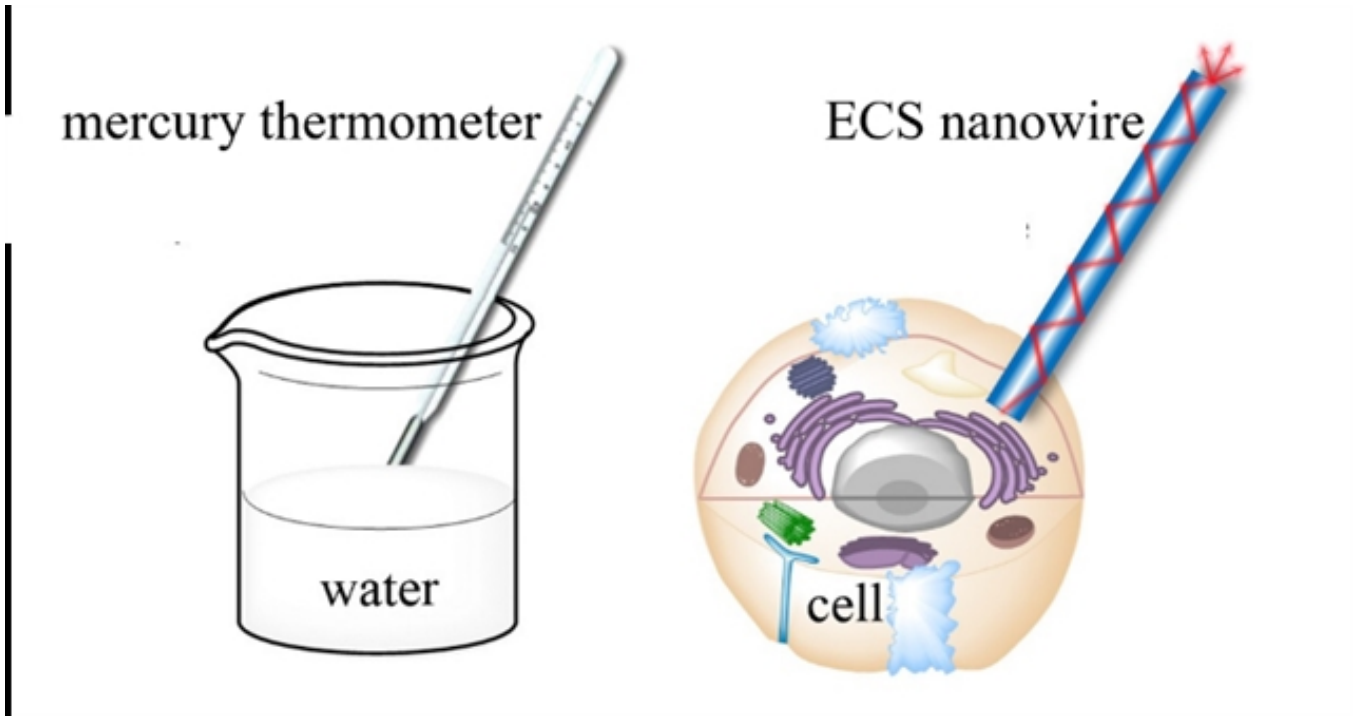


图4：单根纳米线测温和普通水银温度计测温的形象比较。这种纳米线的尺寸比普通温度计小4个数量级，用单根纳米线做生物细胞内窥测量的技术已经被其他研究组所验证，因而这种单根纳米线测温办法原则上可以用来测量单个生物细胞内部的温度

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41377-023-01070-0

作者：宁存政等 来源：《光：科学与应用》

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发