

接近绝对零度下工作的分子温度计

(北京大学 王树峰 编译自 Sophia Chen. *Physics*, October 20, 2023)

一种新型温度计可以绘制表面温度的微尺度分布图，从而能够研究低温下材料中的热量流动。

为了研究微电子元件等微小系统，研究人员希望绘制低温下纳米尺度的温度分布图。但目前的技术总会引入部分热量，破坏测量的结果。最近一个研究小组展示了一种低温温度计，它可以达到微尺度分辨率，并且对被测量系统的温度影响很小。它把微小晶体中嵌入的单分子作为传感器，具有毫开尔文的灵敏度。该技术可广泛用于低温下纳米结构表面的热特性研究。

在各种技术的发展过程中，理解和控制材料中的热量流动至关重要。例如，研究人员使用低温冷却的石墨烯等二维材料，将热量从微电子设备中的热点传出去。低温下，热量可以在这些材料中长距离

传输而不耗散，使得这些材料成为极其有效的热导体。然而，人们对这种热传输的精确机制仍然知之甚少。更普遍地说，研究人员还希望深入理解材料在低温下的其他反常热特性，例如热以波的形式流动的状态。

意大利国家光学研究所(INO)的 Victoria Estesó 和她的同事希望绘制表面温度分布图，以便理解这些特性。但目前能够在低温下提供微米级分辨率的技术并不适合，因为它们会向被测系统传输大量能量。尽管这对于某些类型的测量无关紧要，但在温度分布测量中就无法接受了。因此 Estesó 和她的同事们尝试了一种新的方法。

他们采用的温度计是纳米晶体，晶体内含有几个包裹在萘基质中的二苯并三萘(DBT)分子。当用红色激光照射时，DBT分子会发出荧光，其光谱线宽随着温度升高而变宽。因此，通过测量线宽即可得到纳米晶体的温度。

Estesó 和她的同事在一个以三角形微孔作为格点的硅膜系统上测试了该技术。这些孔有400 nm宽，占据了膜面积的60%，这种类型的“纳米结构”膜可用于管理某类微电子设备中的热流。研究

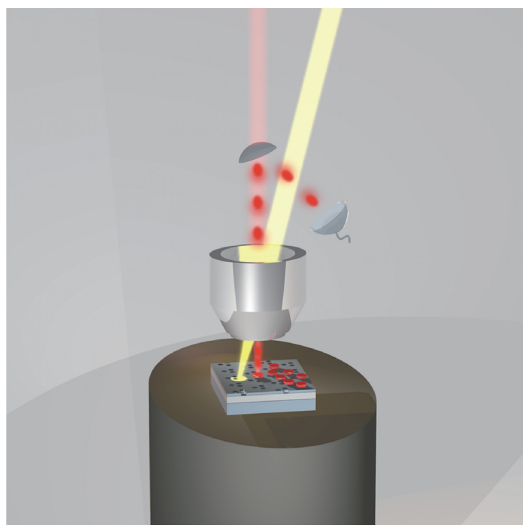
人员首先将DBT和萘混合在水中，并从溶液中生长出纳米晶体。然后他们将一层薄薄的含有纳米晶体的液体覆盖在膜上，让水蒸发。随后，研究小组使用激光束依次加热膜上距晶体不同距离的一系列点，并使用另一束激光照射晶体并测量每种情况下的温度。所得温度与距离的关系与理论模型相符，验证了测温技术。

在另一个实验中，研究人员加热了膜上的一个点，并照射了在面上散布的发光晶体，从而创建了具有微米分辨率的温度分布图，由此确定膜的导热率。

INO团队负责人 Costanza Toninelli 表示，用于在DBT分子中激发荧光的激光功率低至纳瓦，因此其加热效果可以忽略不计。她说：“在分子和膜之间没有明显热传递的条件下，我们测得了温度”。

该温度计在3—20 K的温度下工作效果最佳。虽然研究人员的目标是使用这项技术来研究纳米结构膜中的传热，但他们表示该方法也可以实现商业应用。Toninelli表示，一家德国纳米技术公司有兴趣使用这种方法来探测其低温恒温器内的温度分布。

“在这个温度范围内使用单分子光谱是非常独特的”，葡萄牙阿威罗大学研究光子学和纳米材料的 Carlos Brites 认为，在相对较新的纳米测温领域，拥有针对新应用的新技术是有帮助的。



温度有多高？激光束(黄色)加热图案化的硅膜，而另一束激光(红色)则激发膜表面一块晶体中包裹的单个二苯并三萘(DBT)分子。发射光子(红色椭圆)的谱线线形揭示了DBT分子所在位置的温度，表面温度在3—30 K之间