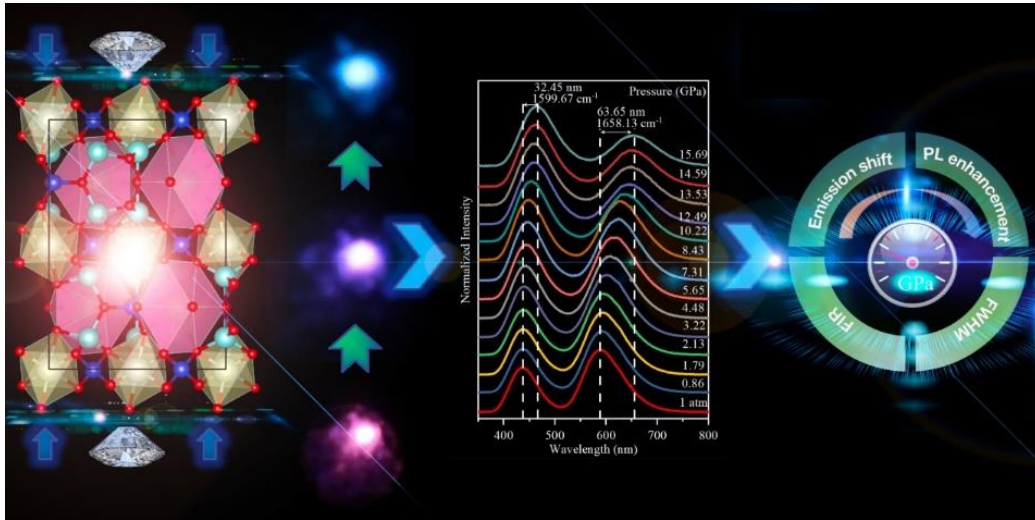


地大北京廖立兵&梅乐夫 AFM: 多模光学压力测量



【图文摘要】

基于 $\text{Li}_4\text{SrCa}(\text{SiO}_4)_2:\text{Eu}^{2+}$ 荧光粉在 1-15.69GPa 下的发射光谱变化设计了一种非接触式多模光学测压传感器，提出了基于光谱移动、荧光强度比和半峰宽变化的多模测压方法，不同测量方式均可精确读取压力数值，该材料具有潜在的应用价值。

【研究背景】

压力是重要的基本热力学参数之一，引入高压为功能材料研究提供了一个新的维度，高压可有效缩短原子之间的距离，使晶体结构收缩，从而改变材料的各种性质，近年来成为研究无机荧光材料能级性质的新手段。研究人员一直关注荧光压力响应材料，其颜色和发光强度通常会在受到挤压和拉伸等外部因素的影响时发生变化，该特性在压力传感器、变形检测、数据存储等领域具有重要研究价值。针对不同的测压需求，需要开发各种不同的测压方法，当前最普遍的方式是基于红宝石在不同压力下的光谱位移进行测量，这是一种简单有效的策略，但其灵敏度较低 ($0.36\text{nm}/\text{GPa}^{-1}$) 并在低于 10GPa 的压力范围内精确度较低，且受环境影响较大，高压下荧光淬灭现象严重，因此测量精度较低。鉴于此，目前国内外学者致力于寻找高灵敏度、受环境影响小、探测范围广的测压材料，并不断探索开发新的压力标定方法。

【成果简介】

针对精准压力测量需求，中国地质大学（北京）材料科学与工程院先进矿物材料课题组廖立兵教授、梅乐夫教授和吉林大学物理学院邹勃教授（共同通讯作者）开展了合作研究。先进矿物材料课题组以具有高化学和物理稳定性的硅灰石矿物为模型，通过类质同相替代设计了具有两个独立发光中心的 $\text{Li}_4\text{SrCa}(\text{SiO}_4)_2:\text{Eu}^{2+}$ 荧光粉，提出了一种基于该荧光粉的“多模光学压力测量”方法。通过测量发射峰位及半峰宽随高压的变化实现压力标定，突破了目前商用压敏材料红宝石较低灵敏度的桎梏；针对于目前测压材料存在严重的高压荧光猝灭问题，创新性地提出了基于荧光强度比测压方法，利用所设计的硅灰石结构中两个 Eu^{2+} 离子相互独立位点的荧光强度变化趋势进行测量，有效消除了环境因素的影响。所设计的材料可以通过发光峰位移动、半峰宽和荧光强度比随压力变化进行精准读数。本研究将为在极端条件和恶劣环境下精确测压提供理论依据和技术支撑。相关论文发表于材料领域国际著名学术期刊《先进功能材料》（Advanced Functional Materials, IF2022=19.0），中国地质大学（北京）数理学院博士生苏科为论文第一作者。

【主要内容】

采用传统的高温固相法制备了高效稳定的 Eu^{2+} 掺杂 $\text{Li}_4\text{SrCa}(\text{SiO}_4)_2$ 荧光粉，分析了样品在常温常压下的晶体结构和发光性能，并利用金刚石对顶砧压机装置创造静高压，分析了该材料发光性能随高压变化的规律，阐明了高压影响 Eu^{2+} 光学性能的物理机制。由于 Eu^{2+} 离子的发光强烈依赖于晶体场变化，而压力变化正好可以改变其周围配位环境，导致晶体场变化，因此可以利用 Eu^{2+} 离子的发光颜色或强度变化来精准测量压力。通过施加外部压力，可以使 $\text{Li}_4\text{SrCa}(\text{SiO}_4)_2:\text{Eu}^{2+}$ 的发光颜色从黄色逐渐连续变化成红色（图 1），通过分析发射峰位移与高压之间的变化，确定其测压灵敏度为 5.19nm/GPa，约为商用测压红宝石的 14 倍。

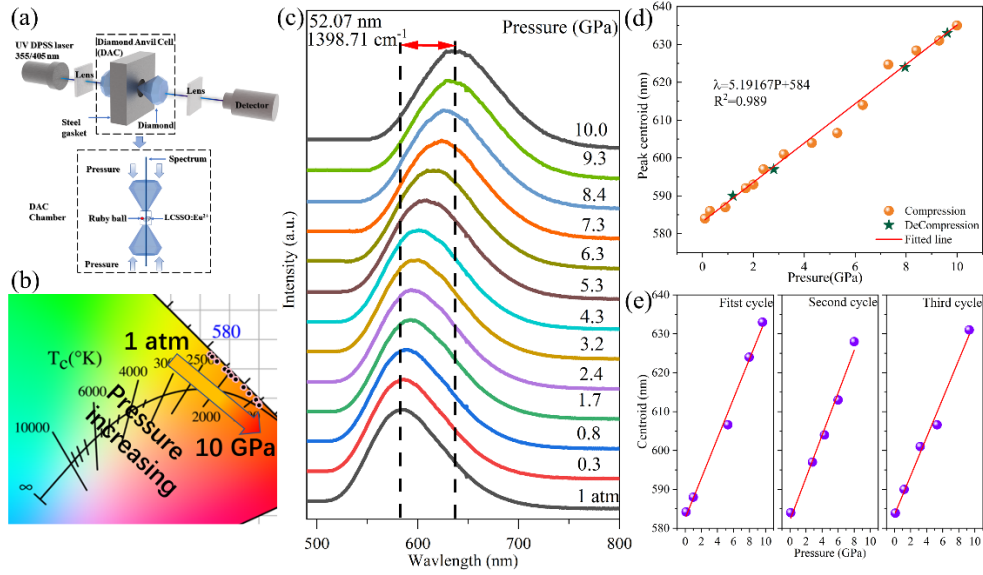


图 1: $\text{Li}_4\text{SrCa}(\text{SiO}_4)_2:\text{Eu}^{2+}$ 荧光粉在高压下的发光性能变化

在实际使用过程中，压力加大通常会会导致荧光强度大幅降低，另外环境因素也会导致测压准确性存在偏差，针对这一问题，我们首次提出基于单个离子在晶体中不同占位的发射光谱进行荧光强度比测压（如图 2），基于具有高化学和物理稳定性的硅灰石结构荧光粉 $\text{Li}_4\text{SrCa}(\text{SiO}_4)_2:\text{Eu}^{2+}$ 中两个独立发光中心的发光强度变化进行拟合。由于外部因素对两个发射峰的影响是一致的，可以有效地消除环境对测量结果的干扰，其精确度将远远高于单一压力测量方法。

我们还研究了半峰宽与高压之间的校准关系，发现半峰宽随压力呈线性变化，可以通过测量半峰宽变化实现压力标定。

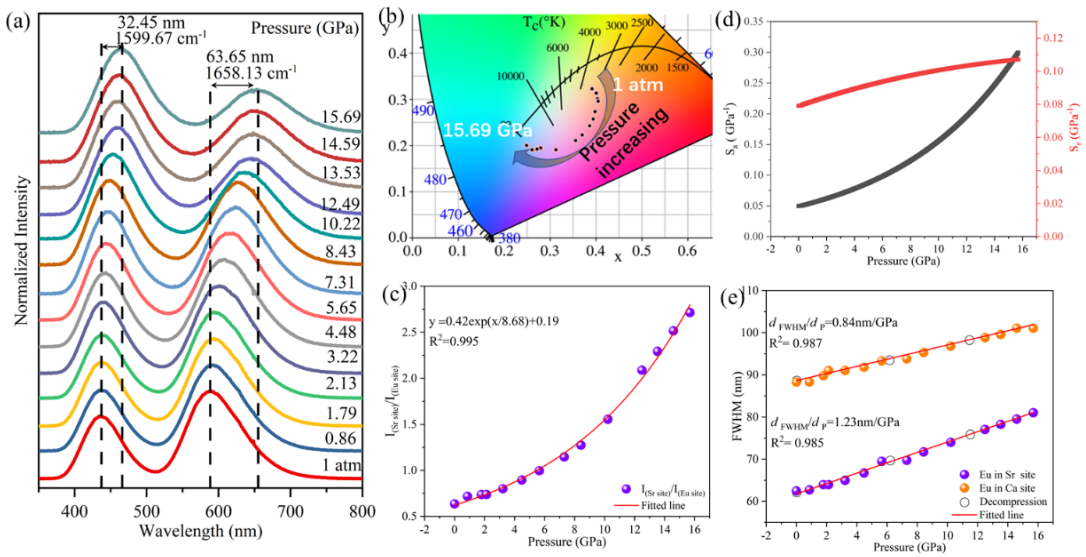


图 2: $\text{Li}_4\text{SrCa}(\text{SiO}_4)_2:\text{Eu}^{2+}$ 荧光粉使用荧光强度比测压和基于半峰宽变化测压

本工作提出了一种新的多模压力测量方法,通过 Eu^{2+} 离子占据结构中的两个独立位点,开发出一种基于光谱移动、荧光强度比和半峰宽变化的多模压力感应材料,为光学压力测量提供了新思路,提高了压力测量范围,拓宽了压力测试的使用场景,可为研发新型压敏发光材料提供理论支持与技术指导。

【致谢】

该项研究工作得到了国家自然科学基金的资助(52274273)。感谢吉林大学超硬材料国家重点实验室王凯教授(现任聊城大学教授)和张龙博士提供的高压测试与表征,同时感谢北京邮电大学符秀丽教授的帮助与指导。

【论文连接】

Su, K., Mei, L. *, Guo, Q., Shuai, P., Wang, Y., Liu, Y., Jin, Y., Peng, Z., Zou, B. *, Liao, L. *,
Multi-Mode Optical Manometry Based on $\text{Li}_4\text{SrCa}(\text{SiO}_4)_2:\text{Eu}^{2+}$ Phosphors. *Adv. Funct. Mater.*
2023, 2305359.
<https://doi.org/10.1002/adfm.202305359>