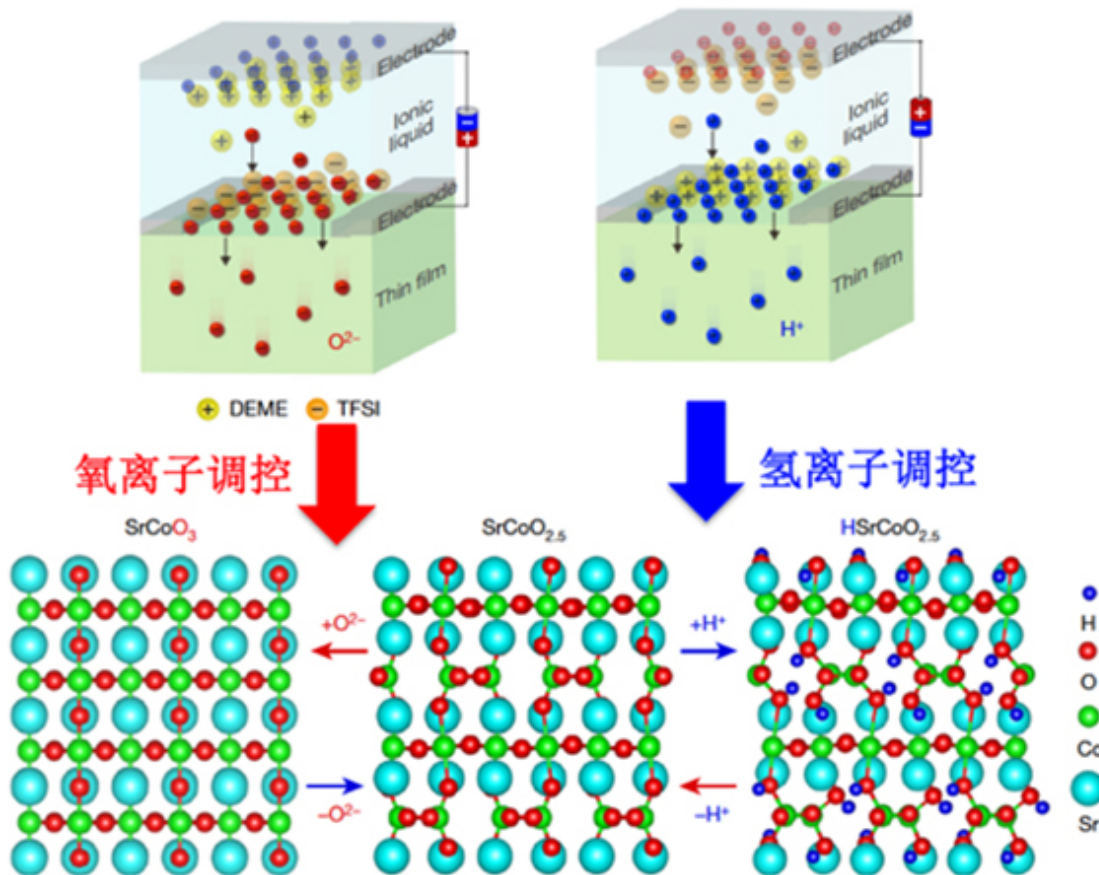


## 清华物理系于浦课题组取得重大突破

6月1日，清华大学物理系于浦副教授带领的研究团队在《自然》（Nature）期刊在线发表了题为《选择性双离子开关电场控制的三态相变》（“Electric-field control of tri-state phase transformation with a selective dual-ion switch”）的研究论文，首次在单一材料中实现了双离子的电场可控结构相变，并揭示了基于三态相变过程中光、电和磁学特性调控的器件应用。《自然》同期发表题为《凝聚态物理：功能材料的转瞬之间》（“Condensed-matter physics: Functional materials at the flick of a switch”）的新闻评述，对这一工作给予了高度评价。

电场控制离子导致的结构相变在物理及材料科学中具有重要意义，并被广泛应用于电池、智能玻璃、燃料电池等应用领域。然而到目前为止，这些调控只能实现作用于 $O^{2-}$ 、 $H^+$ 和 $Li^+$ 等单离子的调控，基于选择性双离子（如 $O^{2-}$ 和 $H^+$ ）的电场控制相变尚未实现。通过优化设计，于浦所带领的研究团队采用离子液体电场调控的方法，在模型体系氧化物 $SrCoO_{2.5}$ 结构中首次实现了电场下的双离子（ $O^{2-}$ 离子和 $H^+$ 离子）的可逆调控，并伴随着 $SrCoO_{2.5}$ 与 $SrCoO_3$ 以及以前尚未发现的新相 $HSrCoO_{2.5}$ 之间的三相可逆结构相变。

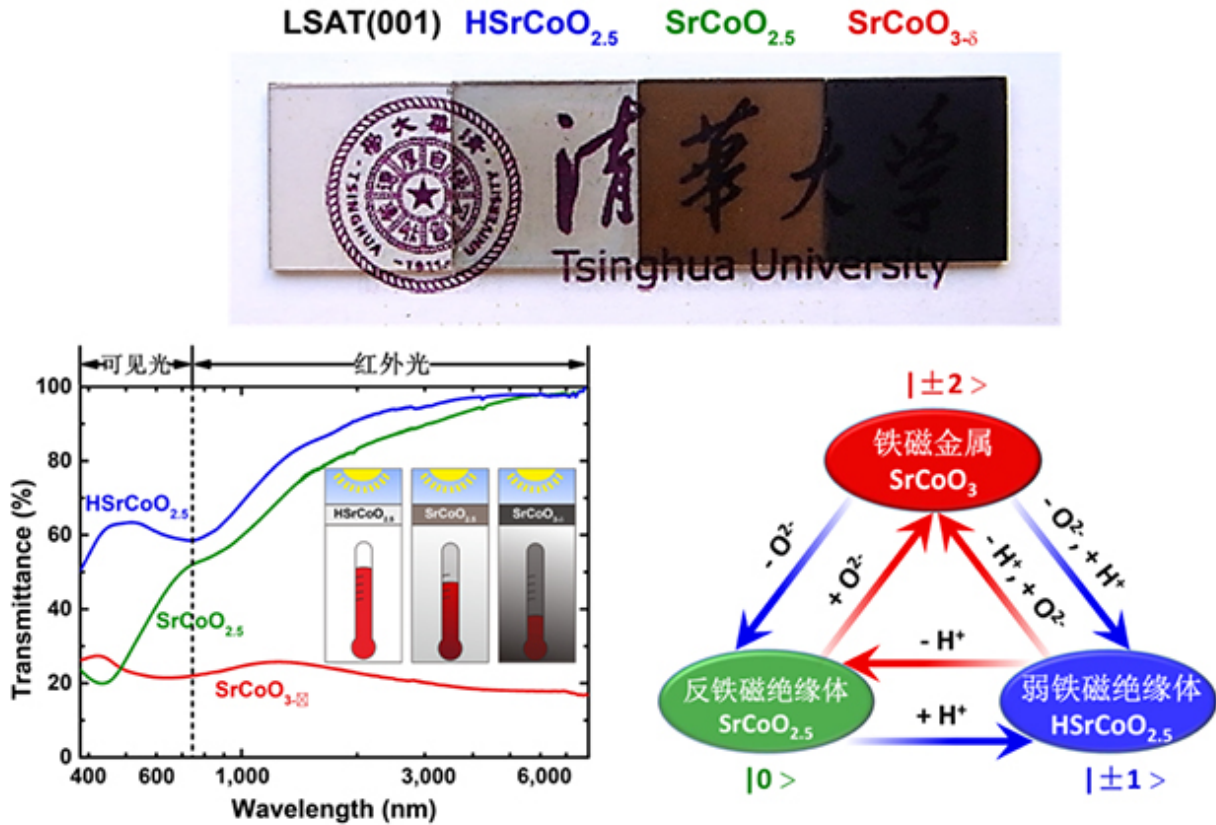
需要指出的是，传统研究通常借助外加压力或材料生长过程中的化学掺杂等调控手段，实现新型物相及新颖物性的设计，但本研究通过电场控制实现离子的插入和析出及其所对应的物相转变，为材料物性调控提供了一类全新的手段。该项发现可以被广泛推广到其它一系列材料体系中，有望孕育出大量的新奇结构相变和丰富功能特性。



通过氧离子和氢离子的电场调控，可以实现 $SrCoO_3$ 、 $SrCoO_{2.5}$ 和 $HSrCoO_{2.5}$ 之间的可逆相变。

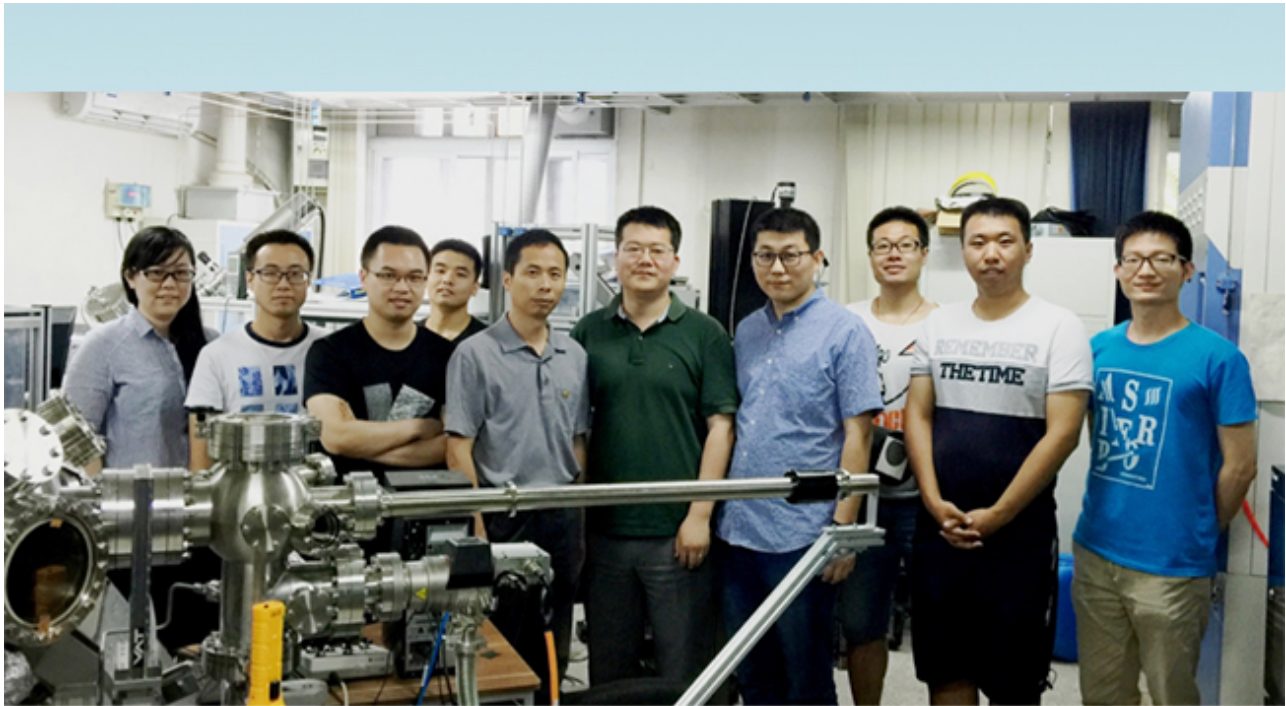
同时，由于调控过程中三相转换在可见光和红外光区具有迥然不同的光学吸收特性，本研究通过电场对于相变的调控实现了基于双离子调控的双波段（可见光和红外光）三态电致色变效应。可见光可实现环境亮暗的调节，红外光则具有显著热效应，可以实现环境凉爽的调节。通过三相调节可以实现全透、进红外光挡可见光以及全部挡光等三种透光状态，而这样的调控有着广泛的应用前景。例如，智能玻璃就可以根据所需场景，通过电压调节建筑物玻璃不同波段的透射率，从而达到高效节能的目的。具体说，冬天可以在不妨碍可见光波段明暗调节需求的前提下提高红外波段

的透射率增加室内温度。反之，夏天可以降低红外波段的透射率来减小外界带来的辐射升温，而且并不妨碍可见光波段明暗的调节需求。更重要的是，这是一种具有“非挥发”特性的相变，即撤掉电压后，其相变后的结构和性能会得到长久保持，从而大大减少维持相变所需的能源消耗。



样品三相相变过程所对应的（上）样品透光度和（左下）透射光谱的变化以及（右下）磁电耦合效应。

此外，这三个相还拥有完全不同的电学和磁学基态，即显示铁磁金属性的 $\text{SrCoO}_{3-\delta}$ ，反铁磁绝缘性的 $\text{SrCoO}_{2.5}$ 以及弱铁磁绝缘性的 $\text{HSrCoO}_{2.5}$ 。应用中，可以通过电场控制这些相之间的切换，从而实现多磁态之间的电场调控。通常情况下，材料磁态的调控需要借助外加磁场实现，需要很大的能耗。而电场对于磁性的调控，即所谓磁电耦合效应，则能显著降低能耗，从而在新型自旋电子学器件中具有广泛的应用前景。



研究团队部分成员在实验室合影。

清华大学物理系于浦副教授和吴健教授为文章的共同通讯作者，于浦副教授负责了该项目的构思、设计及实验的主要部分，吴健教授负责了本文的理论模型部分。博士后鲁年鹏为第一作者，张鹏飞博士为该项研究提供了理论支持。材料学院南策文院士，中科院物理所谷林研究员和张庆华博士负责了材料的透射电镜测量。其他合作者还包括物理系周树云教授和张定助理教授，英国杜伦大学的何清教授，美国劳伦斯伯克利国家实验室先进光源的杨万里博士和埃尔克·阿伦霍尔兹（Elke Arenholz）博士以及日本理化学研究所的十仓好纪（Yoshinori Tokura）教授。

本项研究课题得到了科技部、自然科学基金委、清华大学自主科研计划、清华大学低维量子物理国家重点实验室以及未来芯片技术高精尖创新中心支持。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/109335.html>