
二硫化锗——用于紫外到可见光纳米光子学的替代型高折射率透明材料

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/36308.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！

二硫化锗——用于紫外到可见光纳米光子学的替代型高折射率透明材料。 导读

在纳米光子学领域，新型高折射率材料的开发对于突破传统光学器件的性能瓶颈至关重要。近日，诺贝尔物理学奖得主Kostya S. Novoselov和阿联酋XPANCEO新兴技术研究中心的Valentyn S. Volkov等人的联合团队，通过系统研究二硫化锗（GeS₂）的各向异性光学特性，成功揭示了其在紫外到可见光波段的独特优势。

研究团队通过光谱椭偏仪与近场光学显微镜技术，在实验上证实二硫化锗在360 nm至近红外范围保持透明，双折射 $n_0 = 0.12$ ，这一发现为构建高性能集成光子器件提供了关键材料基础。

该研究不仅通过第一性原理计算揭示了二硫化锗的振动模式与光学常数的内在关联，还通过设计TiO₂/GeS₂界面结构展示了其在偏振分束器中的应用潜力。这一成果为开发下一代光通信器件、增强现实波导系统等提供了新的技术路径，推动了二维材料在光子加密与信息安全领域的实际应用。

该文章近日发表在国际顶尖学术期刊《Light: Science Applications》上，题为Germanium Disulfide as an Alternative High Refractive Index and Transparent Material for UV-Visible Nanophotonics。

研究背景

在纳米光子学领域，传统高折射率材料（如TiO₂）虽在可见光谱区占据主导地位，但其固定的光学响应特性难以满足新型光电器件对动态调控的需求。特别是在集成光子电路中，传统材料的各向同性限制了光场调控的自由度，导致器件功能单一化。

二维范德华材料因其独特的层间弱相互作用，展现出可调谐的光学各向异性，为突破传统材料限制提供了新思路。以二硫化锗为例，其单斜晶系结构赋予的复杂原子排列，使其在保持3.4-3.7 eV宽带隙的同时，通过厚度调控实现了从紫外到近红外的低损耗光学响应。这种动态可调的光学特性为开发可编程光子器件奠定了材料基础，但其各向异性响应机制尚未完全明晰，特别是振动模式与光学常数的耦合关系仍需深入研究。

然而，当前基于二硫化锗的研究仍面临多重挑战。材料制备方面，高质量二硫化锗单晶的可控生长技术尚未成熟，现有机机械剥离法难以满足规模化生产需求。光学各向异性的精确调控机制仍不

明确，特别是面内双折射 $n = 0.12$ 的物理起源需结合理论计算进一步验证。此外，基于二硫化锗的器件设计缺乏系统理论指导，如何利用其高折射率特性优化波导模式限制效率，仍是该领域亟待解决的关键科学问题。这些未解决的问题限制了二硫化锗从实验室走向实际应用，需要材料科学与光子学领域的协同创新突破。

创新研究

研究团队提出基于二硫化锗厚度调控的动态光学各向异性控制方法（如图1）。通过精确控制二硫化锗薄片的厚度（66-215 nm），结合光谱椭偏仪与近场光学显微镜技术，实验证实其在360 nm至近红外范围保持透明，双折射 $n = 0.12$ 。这种厚度依赖的光学响应机制突破了传统材料固定光学常数的限制，为开发可编程光子器件提供了新思路。

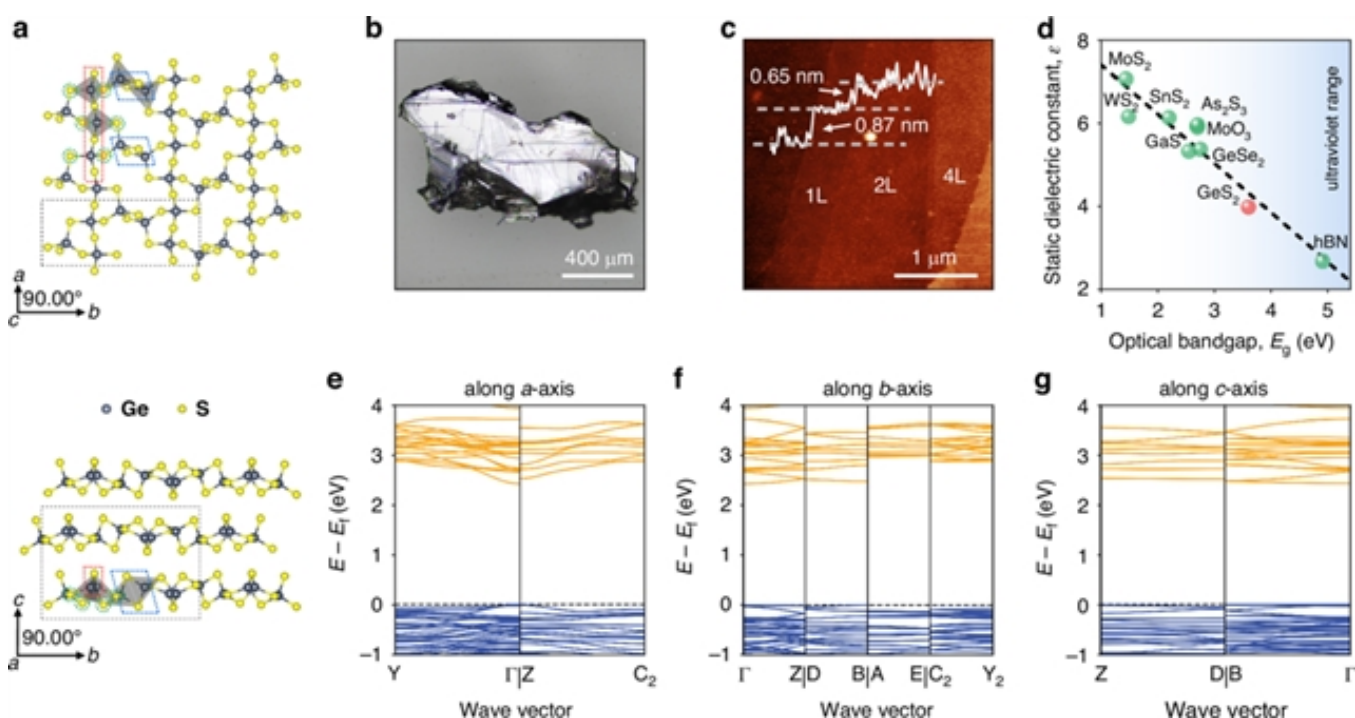


图1. 范德华二硫化锗的晶体结构及其各向异性特征

在材料表征方面，研究人员创新性地结合偏振拉曼光谱与第一性原理计算（如图2），系统解析了二硫化锗的13种振动模式起源。通过角度分辨拉曼强度分析，首次明确了5种特征振动峰（如125 cm^{-1} 、150 cm^{-1} ）与晶体学a/b轴的对应关系，并揭示了220 cm^{-1} 呼吸模式的各向同性特性。这种跨尺度的振动-光学关联研究，为理解二维材料的各向异性响应机制提供了重要理论支撑。

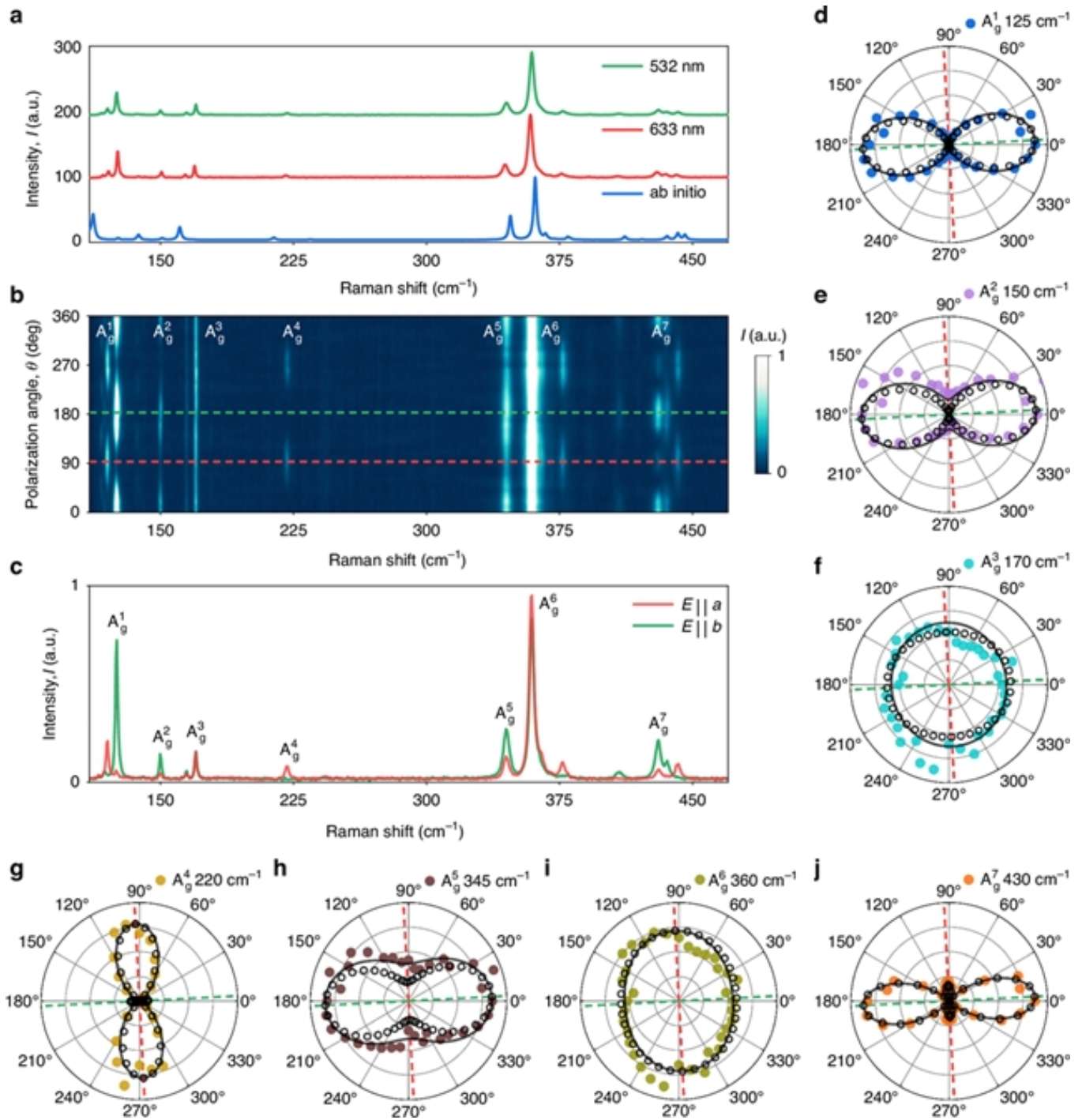


图2. 偏振拉曼光谱揭示GeS2的各向异性振动特性

研究团队还开发了基于二硫化锗的新型偏振分束器结构（如图3）。通过设计TiO₂/GeS₂四界面，利用二硫化锗面内折射率与TiO₂的匹配特性，实现了对p/s偏振光的选择性反射。这种基于材料各向异性的器件设计策略，为集成光子电路中的偏振调控提供了新范式。

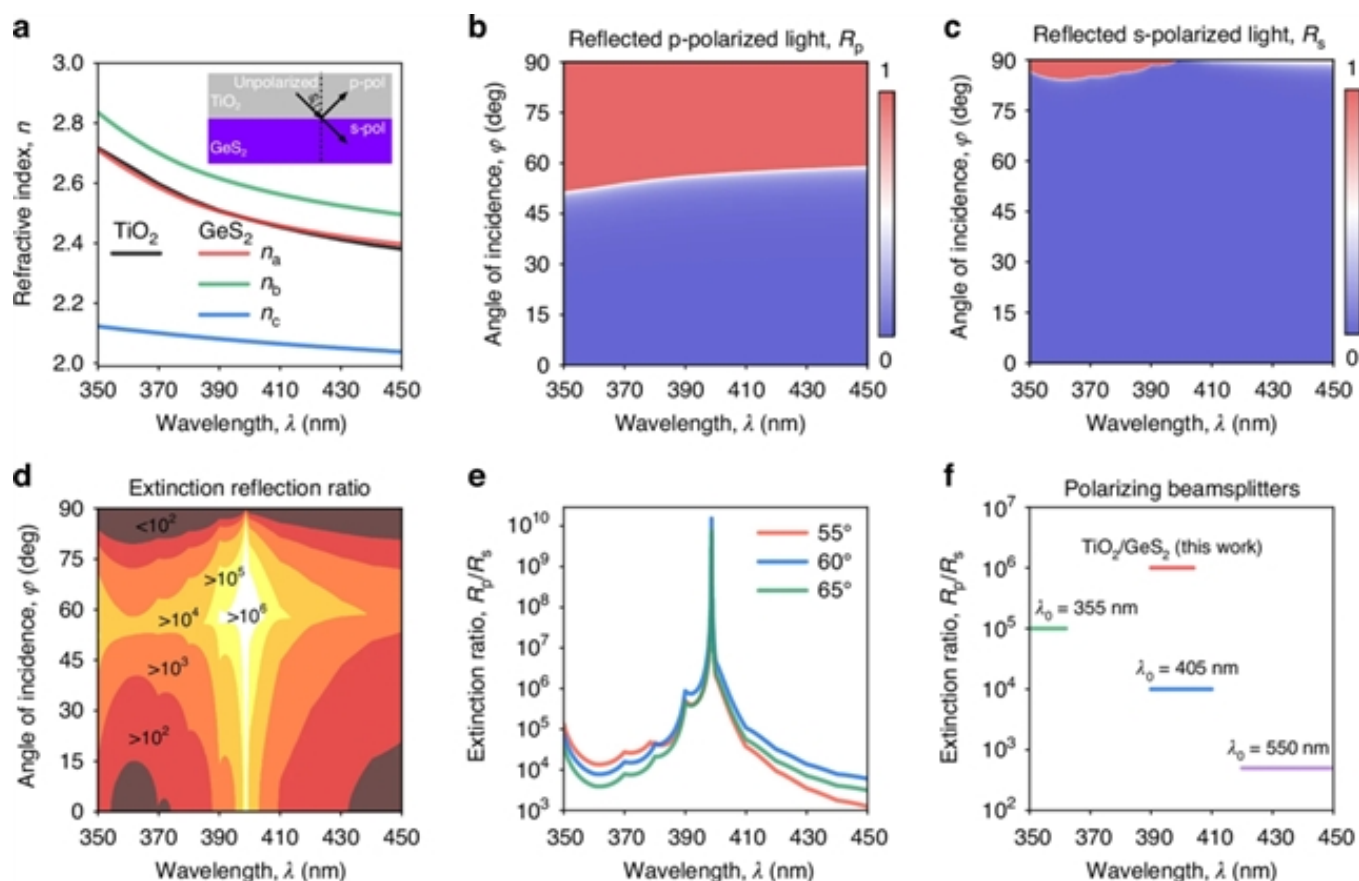


图3. TiO₂/GeS₂界面的偏振分束器设计

总结与展望

该研究首次系统揭示了二硫化锗在紫外-可见光波段的各向异性光学特性。结合偏振拉曼光谱与第一性原理计算，解析了13种振动模式的起源，其中5种特征峰可用于晶体学方向识别，为二维材料的各向异性响应机制提供了新认知。此外，设计的TiO₂/GeS₂界面偏振分束器实现消光比 $>10^6$ ，性能远超商用器件。

当前研究仍面临材料制备技术与理论机制的双重挑战：规模化生产所需的二硫化锗单晶可控生长技术尚未成熟，各向异性调控的微观物理起源需结合更精确的理论计算进一步验证。未来优化方向包括：开发外延生长工艺以突破尺寸限制；探索二硫化锗与其他二维材料的异质结设计，拓展其在多功能光子器件中的应用；深化振动-光学耦合机制研究，为可编程光子学提供理论支撑。在实际应用中，二硫化锗的高折射率与宽禁带特性有望推动集成光子电路、增强现实波导系统及高灵敏度光探测器的技术革新，助力光电器件向微型化、智能化方向发展。（来源：LightScience Applications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-025-01886-y>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：Kostya S. Novoselov 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](http://www.iikx.com)转发