
“强度+光谱+偏振”多维度隐身

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/39312.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！

“强度+光谱+偏振”多维度隐身。 导读

随着大数据时代对多维信息获取需求的增大，高光谱、偏振成像等多维度探测技术的飞速发展，传统隐身技术正面临严峻挑战。近日，浙江大学李强教授与西湖大学仇旻教授团队提出一种基于粗糙表面、银纳米线材料与仿生涂层的复合分级结构，集成了红外低偏振度、低辐射率特性的同时兼容可见-近红外植被光谱模拟功能。团队还验证了该器件在高光谱，热成像与偏振成像探测下的出色伪装性能，为未来地面装备在多模态侦查下的生存能力提供了一体化的保障。相关研究成果以 Multi-dimensional camouflage against VIS-NIR hyperspectral, MIR intensity, and MIR polarization imaging 为题发表于《Light: Science Applications》。

研究背景

在大数据、人工智能等新兴技术的冲击下，单一物理量的光学探测技术已无法满足复杂环境下的多维度信息获取需求，为此，围绕着强度、波长、偏振和相位等光波的本征特性，所衍生出的高光谱成像、偏振成像等多维度探测方法飞速发展，也对现代隐身技术提出了更高的要求。

目前，传统隐身技术主要针对单一维度进行设计，例如通过模拟背景颜色实现可见光伪装，或通过控制表面温度与发射率来规避红外热成像探测。然而在多维度成像方法的协同探测下，一方面，高光谱成像能够解析物质在可见光至近红外的独特光谱指纹，使仅凭颜色匹配的伪装在光谱维度上原形毕露；另一方面，红外偏振成像能够捕捉辐射信号的偏振状态，人工光滑表面在大观测角度下所呈现的高偏振特性，与低偏振的自然背景热辐射信号截然不同。

尽管研究人员在调控材料强度、光谱、偏振等特性以实现单一维度伪装方面成果显著，并且在尝试兼容多波段的伪装技术方面取得了可观进展，然而由于偏振伪装的机制匮乏，多维度伪装机理难以兼容等关键技术难题，发展能够对抗多维度探测的一体化隐身技术仍挑战重重。

创新研究

本文提出了一种基于分层结构的多维度伪装兼容策略，该结构自上而下由三层功能层组成（图1）：顶部偏振伪装层，中部强度伪装层与底部超光谱伪装层。顶部结构由表面粗糙的聚乙烯薄膜组成，通过引入大量微米级的无序结构，增强红外光的漫散射效应，降低镜面反射带来的偏振效应，从而实现宽角度低偏振的伪装功能，此外聚乙烯结构从可见到中红外的光谱透明特性确保顶层结构功能解耦，而不会对下方的功能层产生干扰。对于中部的强度伪装层则采取银纳米线构成的透明导电层，通过控制银纳米线的直径与密度，使得所构建的金属线交联网络能够在红外充当

金属反射层，有效降低器件热发射率的同时维持可见-近红外波段的高透明特性，允许底部光谱伪装信号的通过。针对底部的超光谱伪装，所采用的仿生涂层材料基于氧化铬、六水合氯化镁、水性聚氨酯的复合体系，能够利用氧化铬的模拟制备的植被的绿色反射峰与近红外波段的陡坡特征，结合六水合氯化镁的保水特性模拟植被近红外水的吸收特性，从而实现植被光谱特性的精准模拟。

图1. 多维度伪装器件结构示意图。

为验证这一结构的光学特性，研究团队通过热压转印以及刮涂工艺制备了多维度伪装器件，并对其可见-近红外以及中红外的光学特性进行表征（图2c和图2d）。可见-近红外漫射光谱表明，顶部与中部的聚乙烯-银纳米线结构具有约0.8的高透过率，使得该结构能够与底部的任意可见-近红外光谱模拟技术兼容，多维度伪装器件很好地模拟了植被（绿峰，红边，近红外高原，水吸收谷）的光谱特征；中红外波段的辐射率测试则表明器件在长波红外（8-14 μm ）波段具有约0.7的辐射率，能够对60 左右的地面目标实现有效伪装，且该结构能够采用氧化铟锡（ITO）材料牺牲近红外伪装性能进一步降低红外辐射率至0.3。研究团队还采用红外偏振成像对器件与部分常见材料的角度偏振特性进行了表征（图2e），器件在 0° - 85° 的宽角度范围内均展现出线偏振度低于1.5%的低偏特性，表明器件具有优良的红外偏振伪装性能。

图2. (a)多维度伪装器件的可见图像 (PE侧); (b)器件的SEM图像和表面形貌; (c)器件的可见-近红外漫反射光谱 (PE侧) 和顶部有和没有PE层的AgNWs的透射光谱;
(d)不同材料制备的器件的测量中红外辐射光谱; (e)中红外线偏振度的角度特性。

为进一步验证其在实际应用场景下的伪装性能, 研究团队将该器件与载具模型放置在草坪上, 采用高光谱相机与红外偏振相机进行观察, 模拟对地面目标进行的多维度探测。可以看到在可见-近红外高光谱相机下, 器件与植被的光谱相似度达到了96%以上 (图3b); 并且在光谱角度匹配的分类算法中 (图3c), 器件在整个400-2500 nm波段内均能够有效地欺骗分类算法, 将自身伪装成与叶片、草地相似的植被背景。而在红外偏振相机的观察中 (图3d), 在80 °内部热源的加热下的地面目标, 其器件覆盖区域不仅能够在红外强度图像中较好地融入低辐射背景, 同时在偏振图像中也能够以远低于ITO薄膜样品的偏振强度实现良好的伪装效果。

图3. (a)可见-近红外光谱成像实验场景设置; (b)高光谱图像获取的VIS-NIR光谱曲线;
(c)高光谱图像在400 ~ 900 nm和1000 ~ 2500 nm波长范围内的SAM分类结果;
(d)红外偏振成像场景的可见图像、中红外强度图像和中红外偏振图像。

总结与展望

本研究通过基于粗糙表面、银纳米线与仿生涂层的分层结构设计, 实现了单一器件集成可见-近红外植被光谱模拟以及红外低辐射率、低偏振度的光学特性, 以应用于对强度、光谱和偏振兼容的多维度伪装。研究团队还对。这一成果不仅为基于偏振特性的隐身技术提供了可行性验证, 还为对抗多模态成像, 电磁波多维度协同调控等方向提供了重要的技术支持。(来源: LightScience Applications微信公众号)

相关论文信息: <https://doi.org/10.1038/s41377-025-02145-w>

作者: 李强等 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](https://www.iikx.com)转发