
全红外波段伪装与双波段辐射散热

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/25505.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！

全红外波段伪装与双波段辐射散热。



伪装技术是指隐藏或改变目标物光学特征的技术，能够有效降低目标物被探测到的概率，从而提升其生存几率。多波段探测技术的发展给传统的单一波段伪装技术带来了严峻的挑战，使多波段伪装技术的研究变得十分重要且紧迫。

辐射散热是通过辐射通道耗散目标产生的废热，以达到降低目标热负载的目的。同时，由于物体的热辐射信号强度与其温度的四次方成正比，通过非探测波段的辐射散热降低目标温度，也有利于减少目标在探测波段的热辐射信号强度。

在可见和红外波段，目标主要由两类信号暴露其信息：一是其对外部光源的反射信号，二是其自身的热辐射信号（图1）。一方面，自然环境下的目标物会被外部光源照亮，目标的反射信号将暴露其存在和信息。在所有的自然光源中，太阳辐射无疑是最重要的一个，其能量主要集中在 $0.15 \sim 4 \mu\text{m}$ 的光谱范围内（图1右上），对可见光（VIS， $400 \sim 780 \text{ nm}$ ）、近红外（NIR， $0.78 \sim 1.4 \mu\text{m}$ ）和短波红外（SWIR， $1.4 \sim 2.5 \mu\text{m}$ ）波段的伪装有着至关重要的影响。另一方面，目标物自身向外辐射出红外信号，并可被工作在大气透明窗口的红外探测器探测到。常用的红外探测器工作波段为中波红外（MWIR， $3 \sim 5 \mu\text{m}$ ）和长波红外（LWIR， $8 \sim 14 \mu\text{m}$ ）波段，但随着目标物温度的升高，其热辐射的峰值波长将向短波方向移动，使得短波红外波段的热辐射信号变得无法忽略。

图1：暴露目标物信息的主要信号源与全红外波段伪装器件理想光谱

复杂的信号来源和各波段不同的伪装要求给设计覆盖可见光和全红外波段的宽带伪装器件带来了巨大的挑战。过往的研究多聚焦于中长波红外辐射信号的伪装或可见光、近红外波段反射信号的伪装，而对短波红外的伪装鲜少提及，特别是如何权衡外部光源和自身热辐射的影响。此外，在满足各波段的伪装要求的同时，如何尽可能地利用非探测波段进行辐射散热，也对器件的光谱调控能力提出了更高的要求。

近日，浙江大学李强教授研究团队通过薄膜结构实现了全红外波段（包括近红外、短波红外、中波红外和长波红外）及可见光波段的伪装，同时兼容了 $2.5 \sim 3 \mu\text{m}$ 和 $5 \sim 8 \mu\text{m}$ 两个非探测波段的辐射散热。

该研究成果以Whole-infrared-band camouflage with dual-band radiative heat dissipation为题发表在Light: Science Applications。

全红外波段伪装原理

该团队针对各探测波段信号来源的不同，提出了各红外波段及可见波段的伪装要求：

（1）对于短波红外波段，需同时考虑太阳辐射和热辐射的影响。在理想的气象状况下，短波红外波段内的太阳辐射强度与 330°C 的黑体辐射强度相当。当目标物低于该温度时，太阳辐射强度大于自身热辐射强度，需增加吸收率（即辐射率）来减少反射信号；当高于该温度时，热辐射强度超过太阳辐射，需降低辐射率以抑制热辐射信号。然而，在实际应用场景中，太阳辐射强度一般弱于理想状况，因而低辐射率有着更广的适用场景。

(2) 对于中波红外和长波红外波段，热辐射信号占据主导地位，太阳辐射能量微弱，故应降低其辐射率以抑制热辐射信号；

(3) 对于可见及近红外波段，主要信号来源为反射的外部光源（如太阳辐射）信号，热辐射信号可忽略，故应尽可能降低其反射率以减少反射信号；

红外伪装与辐射散热验证

据此，该团队设计了 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ge}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ge}/\text{ZnS}/\text{GST}/\text{Ni}$ 薄膜结构（图2下），其光谱满足：(i)可见及近红外波段低反射率（分别为0.129和0.281）；(ii)短波红外、中波红外和长波红外波段低辐射率（分别为0.270、0.042和0.218）；(iii) $2.5 \sim 3 \mu\text{m}$ 和 $5 \sim 8 \mu\text{m}$ 波段高辐射率（分别为0.742和0.473）。

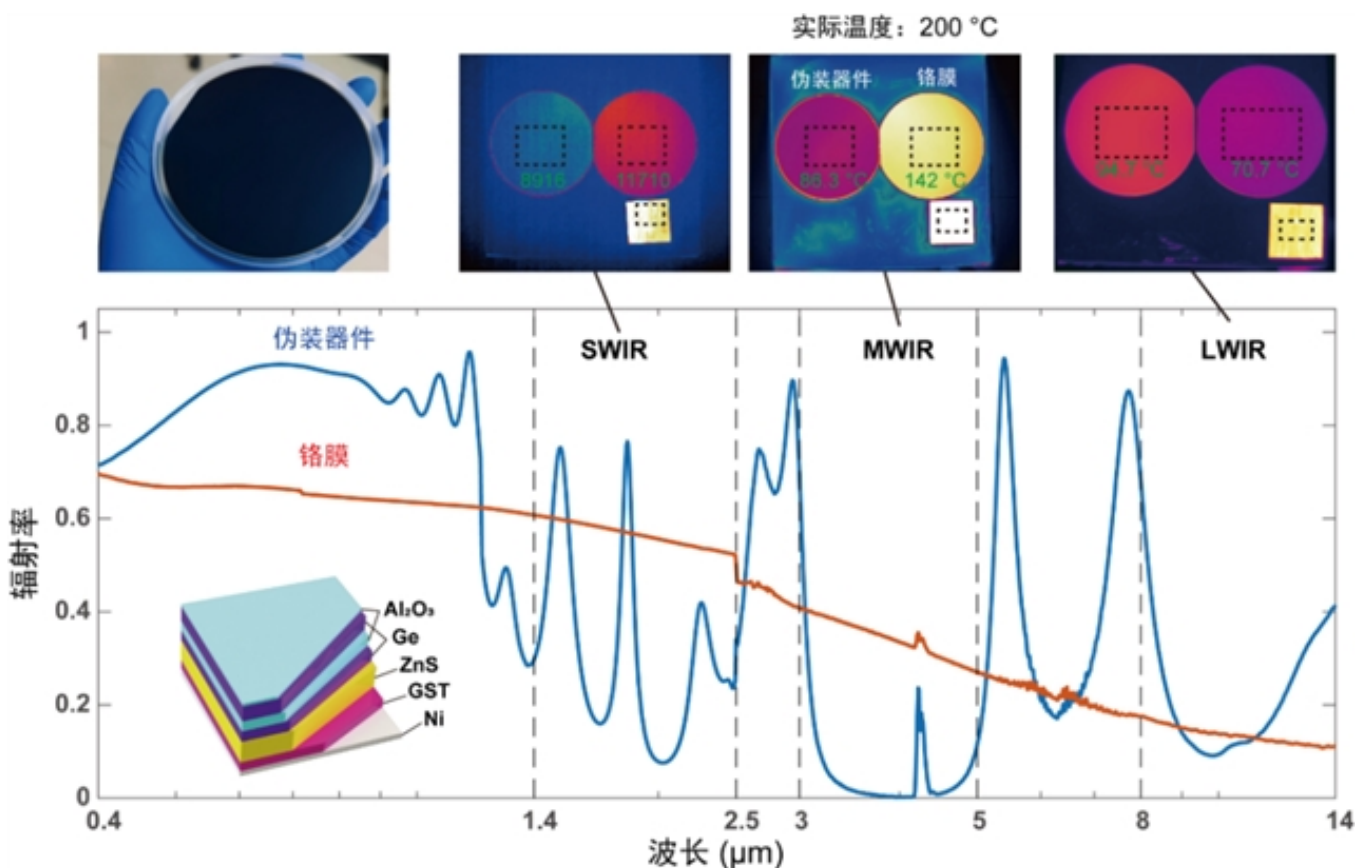


图2：伪装器件与铬膜的辐射率谱及可见、红外图像

将制备的伪装器件加热至200

，并用中波/长波红外热像仪观察，发现其辐射（表观）温度仅为86.3 /94.7 ，与参照物金属铬膜（常被用作目标物涂层）相比，有着更好/相近的抑制热辐射信号能力（图2上）。用短波红外相机观察，发现其信号强度相比参考黑体降低了39.3%。

特别地，团队实验验证了器件在太阳辐照下的短波红外伪装能力。在较低温度下，镜面反射的太阳辐射强度大于热辐射强度，使得器件总信号强度大于铬膜；但在非镜面反射方向，器件的总信号强度弱于铬膜。在较高温度下，由于热辐射强度已超越太阳辐射，占据主导地位，因此无论在

镜面反射方向还是漫反射方向，器件均表现出更弱的总信号强度。

另外，在恒定输入加热功率的实验中，团队证明了在非探测波段具有高辐射率的伪装器件相比宽带低辐射率的铬膜，热平衡温度降低了14.4（输入加热功率密度2000 W m⁻²），展现出了有效的辐射散热能力。

前景展望

本工作研究了红外及可见各波段信号来源及特征，提出了兼顾全红外波段（及可见波段）伪装与辐射散热要求的器件光谱特征，为应对复杂信号源和多波段探测系统的伪装器件设计提供了参考。团队通过7层薄膜结构（总厚度1.755 μm）实现了涉及七个波段的精细光谱调控，对促进微纳光子结构在隐身、热管理、能源等领域的应用具有积极意义。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-023-01287-z>

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