

可见光与红外兼容伪装材料研究进展

陈明辉¹ 程海峰² 夏成龙¹ 彭任富² 张朝阳² 刘东青²

(1.火箭军驻长沙地区军事代表室,长沙 410073;
2.国防科技大学新型陶瓷纤维及其复合材料重点实验室,长沙 410073)

摘 要 阐述了实现可见光与红外兼容伪装的途径,以及包覆材料、一体化材料和复合薄膜等可见光与红外兼容伪装材料的伪装原理、研究现状和发展趋势。

关键词 可见光与红外兼容伪装材料,包覆材料,一体化材料,复合薄膜,研究进展

Research progress in visible light and infrared compatible camouflage material

Chen Minghui¹ Cheng Haifeng² Xia Chenglong¹ Peng Renfu²
Zhang Chaoyang² Liu Dongqing²

(1.Military Representative Office of Rocket Force in Changsha,Changsha 410073;
2.Key Laboratory of Advanced Ceramic Fibers and Composites,National University of
Defense Technology,Changsha 410073)

Abstract Approach of realizing the compatibility camouflage of visible light and infrared was described.The camouflage mechanism, present situation and development trend of several visible light and infrared compatible camouflage materials,such as clad material,integral material and composite film,were also reviewed in detail.

Key words visible light and infrared compatible camouflage material,clad material,integral material,composite film,research progress

在现代高技术战争中,随着探测技术的迅速发展,武器装备可能同时受到来自可见光、红外、雷达及激光等多波段、全方位的探测,并最终遭到精确制导武器致命性的打击。战场上军事武器装备的暴露与否对战争的胜败有重大影响,为避免其在战场上受到来自探测设备的重大威胁,多波段兼容的伪装材料受到了巨大的关注^[1]。多波段兼容的伪装材料可以降低军事装备被发现的概率,有效保障其在战场上生存能力^[2]。可见光与红外兼容伪装材料是多波段兼容伪装材料中的一种,可以有效降低军事武器装备在可见光与红外波段被探测到的概率^[3-4]。笔者阐述了从实现可见光与红外伪装的途径、几种可见光与红外兼容伪装材料的伪装原理和发展现状等。

1 实现可见光与红外兼容伪装途径

由于电磁波波长不同,物体对电磁波的吸收、反

射等特性也不同,因此在可见光红外兼容伪装中,可见光伪装波段和红外伪装波段对电磁波特性的需求各不相同。可见光伪装是利用自身颜色特征减少目标与背景之间的差别,设法使目标在人的视觉系统或者摄像等可见光探测系统中与背景相融合,达到降低被发现的目的^[5-6]。红外伪装是通过调整目标的红外辐射性质,减少与背景的红外辐射差别,设法使目标在红外探测系统上与背景相融合,达到降低识别目标特征形状概率的目的^[7]。根据斯蒂芬-玻尔兹曼定律,物体的辐射强度与发射率和温度的四次方成正比,因此调节物体表面的发射率和表面温度是实现红外伪装的两种途径^[8-9]。由于目标与背景的温度差难以减小到要求的限度,所以红外伪装主要集中在目标表面发射率的调节^[10]。

可见光与红外兼容伪装是目标同时具有可见光伪装和红外伪装两种伪装性能。为实现两种伪装性能的兼容,关键在兼容伪装材料应满足两点要求。

一方面,要求可见光伪装材料具有不同的颜色、含量尽可能低,尽可能不对红外发射率造成较大的影响;另一方面,在红外波段,要求红外伪装材料具有合适的红外发射率。而红外高发射率材料比较容易得到,所以寻找红外低发射率材料是红外伪装材料的主要研究方向^[11]。如何兼顾红外低发射率及其与可见光伪装的材料需求,一直以来是可见光与红外兼容伪装领域研究的重点和难点之一。

现阶段实现可见光与红外兼容伪装,主要有两种途径:第一,在高发射率目标表面涂覆一层涂料,这种涂料通常由包覆红外低发射率材料的可见光着色材料或者是能同时满足可见光与红外兼容伪装要求的一体化材料(如掺杂氧化物半导体)组成,与其他高发射表面构成一种可见光与红外兼容迷彩^[12];第二,在高发射率目标表面构建红外低发射率材料与可见光伪装材料形成的多层膜复合结构^[13]。

2 可见光与红外兼容伪装材料

可见光与红外兼容伪装材料主要分3种:包覆材料(包覆红外低发射率材料的可见光着色材料)、一体化材料和复合薄膜。

2.1 包覆材料

材料的包覆处理是一类重要的材料改性方法。通过将一定的颜料修饰在核层表面,使材料能够兼顾两种材料的性能,得到性能优异满足特定功能的优异材料。可见光与红外兼容伪装中的包覆材料即以低红外发射率材料为核,在其表面包覆具备绿色、黄色等颜色的可见光伪装材料,形成一种具有核壳结构的包覆材料。

一般金属材料的发射率都较低,适用于包覆材料中的核,这些金属材料中又以铝最为常用。然而铝在可见光波段也具备较高的反射率,导致包覆材料的明度和光泽度较高,为可见光与红外兼容伪装带来一定困难。为解决这个问题,通常是通过在核上包覆可见光着色材料,制备出表面为绿色、黄色等颜色的红外低发射率材料。然而绝大多数可见光着色材料的加入必然会影响到核的红外低发射率特性,限制了包覆材料在可见光与红外兼容伪装中的应用^[14]。因此,如何降低包覆材料可见光波段的反射率,同时保持其在红外波段优异的低发射率特性,对改善包覆材料在可见光与红外兼容伪装中的应用具有重要的意义。

顾宝霞等^[15]利用化学液相沉淀法在低发射率铝(Al)表面包覆二氧化硅/三氧化二铁($\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$)

,制备了具有核壳结构的铝/二氧化硅/三氧化二铁($\text{Al}/\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$)。实验表明,该材料实现了Al的可见光着色并且在 $8\sim 14\mu\text{m}$ 波段红外发射率基本没有发生改变。韩超等^[16]以Al为低发射率材料、氧化铁棕和氧化铁黄为可见光着色材料,模拟沙漠迷彩花型中的土黄色和灰棕色,通过改变材料之间的比例获得了不同颜色的可见光红外兼容伪装材料。艾现成等^[17]利用直接沉淀法在低发射率Al表面包覆一层金黄色的铁氧化物,然后通过一定条件下制得深色颜料。包覆后的材料具有适宜的可见光亮度和较低的红外发射率,能有效兼容可见光与红外波段的伪装特性。

2.2 一体化材料

能同时满足可见光与红外兼容伪装要求的一体化材料兴起于20世纪80年代中后期,以掺杂氧化物半导体为代表。可见光和红外光在半导体中的传播特性与等离子频率有关。等离子频率主要由它的载流子浓度决定,而通过掺杂可以调节载流子浓度,从而改变材料的反射率,实现可见光高透射、红外低发射。因此这种材料不仅可以满足红外波段的伪装要求,而且还可满足可见光伪装的要求^[18]。

一体化材料主要有掺锡氧化铟(ITO)、掺铝氧化锌(ZAO)等。王自荣等^[19]用氧化锡(SnO_2)掺杂高温烧结的ITO,发现ITO的发射率随着掺杂量的变化可以从0.89降到0.68。马格林等^[20]从理论上分析了ITO和ZAO等材料实现可见光和红外兼容伪装的可能性,并指出ZAO比ITO有着更高的可见光透过率和红外反射率,易于掺杂、制备简单和成本较低等^[21]。

2.3 兼容伪装复合薄膜

可见光与红外兼容伪装薄膜是另一种具有很大潜力的可见光与红外兼容伪装材料。该兼容伪装薄膜由双层薄膜组成,底层薄膜具有红外低发射率特性,上层薄膜能实现颜色随膜层厚度或者材料种类变化而改变的效果,从而实现可见光着色特性。

相比包覆材料和一体化材料,复合薄膜具备一系列优点,如薄膜与基底的结合性好、薄膜的纯度高、致密性好及重复性好等。曹晔等^[22]采用多弧离子镀膜方法,制备了二氧化钛/氮化钛(TiO_2/TiN)复合薄膜,该复合薄膜能显示多种颜色,红外发射率最低为0.27。向远博等^[23]采用多弧离子镀膜方法,制备了铬/三氧化二铬($\text{Cr}/\text{Cr}_2\text{O}_3$)复合薄膜。结果表明,该复合薄膜具有多种颜色,同时具有较低的红外发射率,通过对制备工艺的进一步优化,有望得到性

能良好的可见光外兼容伪装薄膜。郝雷等^[24]制备了铝/掺氮二氧化钛(Al/TiNO)复合薄膜,在不改变 Al 在 8~14 μm 波段低红外发射率的情况下,实现了薄膜颜色的变化。

兼容薄膜也存在一些问题,如薄膜表面一般比较光滑,在室外观察薄膜时,由于具有强烈的镜面反射效果,薄膜显得很亮,而且观察角度不同时,薄膜显示不同的颜色。解决上述问题的一个方法是制备表面粗糙度大的红外低发射率薄膜,然后再制备着色迷彩薄膜,可以得到具有漫发射效果的薄膜。顾宝霞等^[25]在聚酰亚胺柔性基底上制备了钛/二氧化钛(Ti/TiO₂)多层复合薄膜,通过控制基底的粗糙度使复合薄膜在可见光波段具有非镜面反射的效果,并通过控制薄膜内层和外层的厚度,使复合薄膜在 8~14 μm 波段具有连续可调的红外发射率。王丛等^[26]在 Al 基底上制备了 TiO₂/TiN 多层复合薄膜,通过控制基底材料 Al 的粗糙度,制得的薄膜在可见波段具有非镜面反射效果、结合力良好和迷彩效果的低红外发射率薄膜。

3 结语

随着现代制导手段的不断发展,单一波段伪装材料已经难以满足现代伪装的需求,伪装材料的研究需向多波段兼容伪装材料方向发展。可见光与红外兼容伪装是军事目标伪装领域的战略与战斗的需要,也是伪装材料技术研究的深入与拓展。可见光与红外兼容伪装材料的研究正呈现出较好的发展趋势,其中有很多方面还有待深入研究,实现一些重大突破。可见光与红外兼容伪装材料的设计涉及到各个领域,如材料表界面设计及其微观尺寸下的相互作用、材料的光学性质、漫反射和散射理论等。针对可见光红外探测手段,通过新材料的研制和综合设计,力争早日在军事目标伪装领域得到应用。

参考文献

- [1] 王超,时家明,赵大鹏,等.多波段兼容伪装方法的分析研究[J].兵器材料科学与工程,2012,35(5):92-95.
- [2] 张朝阳,程海峰,王茜,等.多波段伪装涂料制备及性能表征[J].新技术新工艺,2005(12):44-46.
- [3] 吴春,刘祥萱,吴友朋.可见光/热红外伪装复合材料的制备与性能研究[J].红外技术,2009,31(10):602-606.
- [4] 胡碧茹,李进,吴文健,等.第十二届光电对抗与无源干扰学术交流会议文集[C].长春:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,2002.
- [5] 徐文兰,张栓勤,徐怡.可见光隐身涂料设计[J].物理学报,2004,53(9):3215-3219.
- [6] 马丽芳,时家明,陈宗胜.绿色伪装涂料可见光和近红外反射率的探讨[J].红外技术,2010,32(5):268-272.
- [7] 付伟.红外隐身原理及其应用技术[J].红外与激光工程,2002,31(1):88-93.
- [8] 党芬,王敏芳,汪银辉.武器装备中的红外隐身技术[J].红外技术,2006,28(1):50-53.
- [9] 陈彪,张春元.红外隐身技术在军事上的应用[J].光学技术,2006,32(8):577-580.
- [10] 许鹏程,李晓霞,胡亭.红外隐身原理及发展[J].红外,2006,27(1):16-20.
- [11] 张凯,马艳,范敬辉.低发射率红外隐身涂料研究进展[J].化学推进剂与高分子材料,2008,6(1):21-25.
- [12] Kleinhempel R, Kaune G, Herrmann M, et al. Properties of ITO films prepared by reactive magnetron sputtering[J]. Microchim Acta, 2007, 156: 61-67.
- [13] 程红飞,黄大庆.多频谱兼容隐身材料研究进展[J].航空材料学报,2014,34(5):93-99.
- [14] Manara J, Reidinger M, Rydzek M, et al. Polymer-based pigmented coatings on flexible substrates with spectrally selective characteristics to improve the thermal properties[J]. Progress in Organic Coatings, 2011, 70: 199-204.
- [15] 顾宝霞,刁训刚,郝雷.低红外发射率迷彩填料的制备及光谱特性[J].宇航材料工艺,2008(3):58-61.
- [16] 韩超,周岚,冯新星.多色调隐身涂料及其迷彩伪装的性能[J].印染,2014(16):16-20.
- [17] 艾现成. Al/Fe₃O₄ 深色复合颜料的制备及其性能表征[D].成都:电子科技大学,2015.
- [18] 张宏元,郭俊杰.红外隐身材料的性能特征述评[J].化工新型材料,2003,31(1):30-33.
- [19] 王自荣,余大斌,於定华,等. ITO 涂料在 8~14 μm 波段红外发射率的研究[J].红外技术,1999,21(1):41-45.
- [20] 马格林,曹全喜,黄云霞.红外和雷达复合隐身材料——掺杂氧化物半导体[J].红外技术,2003,25(4):77-80.
- [21] Chen M, Pei Z L, Sun C, et al. ZAO: An attractive potential substitute for ITO in flat display panels[J]. Materials Science and Engineering, 2001, B85: 212-217.
- [22] 曹晔,刁训刚,孟超,等. TiO₂/TiN/PI 低红外发射率迷彩薄膜制备及其特性研究[J].真空科学与技术学报,2009,29(2):213-217.
- [23] 向远博,刁训刚,郝雷,等.多弧离子镀 Cr/Cr₂O₃ 薄膜红外及可见光谱特性[J].宇航材料工艺,2008(5):37-40.
- [24] 郝雷,刁训刚,顾宝霞,等.红外可见兼容隐身薄膜的制备与性能[J].宇航材料工艺,2008(2):26-29.
- [25] 顾宝霞,刁训刚,郝雷,等.柔性基底 Ti/TiO₂ 薄膜的可见光谱及红外辐射特性研究[J].红外技术,2008,30(11):677-680.
- [26] 王丛,刁训刚,曹晔.可见光迷彩低红外发射率薄膜制备及其特性[J].宇航材料工艺,2010(6):57-61.

收稿日期:2016-12-22

修稿日期:2018-01-21