

# 雷达 激光复合隐身材料的实验研究

徐培华<sup>1</sup> 张明雪<sup>1</sup> 孙惠敏<sup>2</sup> 沈晓冬<sup>2</sup>

(1 南京大学电子科学与工程系,南京 210093)

(2 南京工业大学材料学院,南京 210009)

**文 摘** 采用双层涂敷法,在雷达隐身材料表层喷涂薄层的激光隐身材料,制备了双层型雷达 激光复合隐身材料,并用紫外—可见—近红外分光光度计分别测试了涂敷激光涂层前后的激光反射率以及在微波暗室内测试了涂敷激光涂层前后的雷达波反射率。结果表明:涂敷激光涂层后,在 1.06 μm 处的反射率由 2.24% 降低到 0.13%,在 8~15 GHz 范围内,对雷达波反射率没有不利影响,均小于 -7.5 dB,且有一定的改善,显示该材料在 8~15 GHz 范围内可以很好地实现雷达与激光的复合隐身,在其他波段的兼容性有待于进一步研究。

**关键词** 激光隐身材料,雷达隐身材料,复合隐身材料

## Laser/Radar Compatible Stealthy Materials

Xu Peihua<sup>1</sup> Zhang Mingxue<sup>1</sup> Sun Huimin<sup>2</sup> Shen Xiaodong<sup>2</sup>

(1 Department of Electronic Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093)

(2 Nanjing University of Technology, Nanjing 210009)

**Abstract** The multilayer laser/radar stealth materials are manufactured by painting laser stealth material on radar stealth material. The UV/VIS/NIR spectrometer is used to measure laser reflectivity, and radar reflectivity is obtained in microwave chamber. Experimental results indicate that the laser reflectivity of the radar/laser stealth material is reduced from 2.24% to 0.13% at 1.06 μm after coating laser stealth material, and the radar reflectivity of the multilayer radar/laser stealth material is less than -7.5 dB within 8-15 GHz, which is even lower than radar stealth material's. All of these indicate that the multilayer radar/laser stealth material has good compatible stealth performance. The further research will be on the compatibility of the laser with other microwave band.

**Key words** Laser stealth material, Radar stealth material, Compatible stealth material

### 0 引言

在现代及未来战争中,雷达仍是探测目标的主要手段,但激光技术在侦察、探测目标和制导技术方面也得到了广泛的应用,因此国内外对雷达隐身材料和激光隐身材料的研究都很重视<sup>[1~3]</sup>。由于战场上探测、制导手段的多样性和复合制导技术的迅速发展,单功能隐身已难以满足实战的需要,复合隐身成为了隐身技术研究的发展方向。目前对激光与红外、雷达与红外等复合隐身技术的研究都在进行之中<sup>[4~5]</sup>,但是对于激光与雷达的复合隐身技术的研究报道很少。

文献[6~7]报道某金属氧化物为吸收剂的激光隐身涂层在 2~18 GHz 波段对雷达波近似透明,掺杂适当的材料(如 MWCNTS)还可以提高某些波段的雷达波吸收性能。本文利用这些特性,采用涂敷法制备双层型雷达 激光复合隐身材料,并测试其性能,以评估复合隐身的效果。

### 1 实验

#### 1.1 材料的制备

雷达隐身材料为一种雷达吸波贴片,主要由羰基铁粉、专用胶黏剂及其他一些添加剂混合制成,由南京大学自主研制。采用的激光隐身材料主要由钢锡金属氧化物(IIO)掺杂微量碳纳米管(MWCNTS)再加一些胶黏剂、添加剂混合制成,由南京工业大学自主研制。

将雷达吸波贴片贴敷在光滑铝板上,铝板尺寸分别为 180 mm × 180 mm × 5 mm 和 50 mm × 50 mm × 5 mm,雷达吸波贴片(RAM)厚度为 1 mm。之后,在雷达吸波涂层表面喷涂薄层的激光隐身材料(厚度约为 45 μm),激光隐身材料的厚度主要由喷涂次数和增重控制,激光隐身材料完全固化后最终制得双层型雷达 激光复合隐身材料(RAM/LAM)。

#### 1.2 性能测试

在实验室环境下,在日产岛津(SHMADZU)UV—365紫外—可见—近红外分光光度计测试平台上,测试喷涂激光隐身材料前后的雷达隐身材料在 0.9~1.2 μm 波段的反射率曲线,试样为 50 mm × 50 mm 的正方形样片。根据反射率曲线可以找到 1.06

收稿日期:2007-06-26

作者简介:徐培华,1979年出生,硕士,主要从事隐身材料的研究

$\mu\text{m}$ 处的反射率。根据 GJB2038—94《雷达吸波材料反射率测试方法》,试样大小为  $180\text{ mm} \times 180\text{ mm}$ ,频率范围为  $2 \sim 15\text{ GHz}$ ,测试喷涂激光隐身材料前后的雷达隐身材料的雷达波反射率。

## 2 结果与讨论

### 2.1 激光隐身性能

在分光光度计上测试 RAM 表面喷涂激光隐身涂层前后的激光反射率。结果表明:雷达吸波贴片材料喷涂激光隐身材料前后在  $1.06\ \mu\text{m}$  波长处的激光反射率分别为  $2.24\%$  和  $0.13\%$ 。可见,在增加了激光隐身涂层后材料的激光反射率至少降低了一个数量级。

根据脉冲激光测距机的测距方程可知,对于大目标来说,激光测距机的最大测程与漫反射大目标反射率的平方根成正比,所以如果目标表面反射率降低一个数量级,则能使最大测程减少到原来的  $1/3 \sim 1/2$ ,从而实现相对较好的激光隐身效果<sup>[8]</sup>。

### 2.2 雷达隐身性能

雷达波反射率测试结果如图 1 所示。

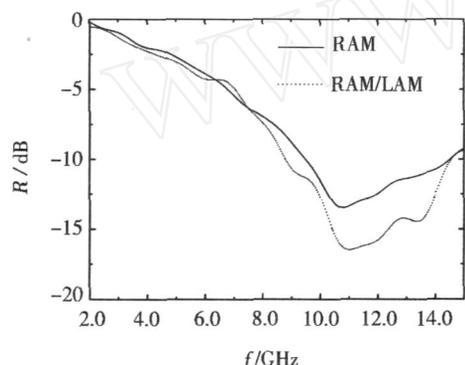


图 1 RAM 材料喷涂激光隐身涂层前后的雷达波反射率

Fig 1 Radar reflectivity curves of RAM and RAM/LAM

由图 1 可看出,在  $8 \sim 15\text{ GHz}$  频段,雷达激光复合隐身材料的雷达波反射率小于雷达吸波贴片材料,其雷达后向衰减量均小于  $-7.5\text{ dB}$ ,在  $10.9\text{ GHz}$  附近出现峰值,反射率约为  $-16.8\text{ dB}$ ,达到了很好的雷达隐身效果。表明增加此种薄层激光隐身涂层,不仅未削弱原有雷达吸波贴片材料的雷达隐身性能,反而使雷达隐身性能在一定频率范围内略有提高。这是因为在激光材料  $\text{In}_2\text{O}_3$  中掺杂了高价锡离子  $\text{Sn}^{4+}$  和微量的 MWCNTS,使得原本不具有雷达波吸收性能的  $\text{In}_2\text{O}_3$  材料具备了一定的雷达波吸收性能。

### 2.3 雷达激光复合隐身材料制备方法讨论

(1)利用某些激光隐身涂层对雷达波的透明性,将激光隐身材料喷涂到雷达隐身材料表面制备双层型雷达激光复合隐身材料。当雷达波入射时,上层激光隐身材料基本透射,主要由下层雷达波隐身材料吸收;当激光入射时,主要依靠上层材料吸收。

就双层型结构而言,如果外层激光隐身涂层厚度不大,不会削弱雷达隐身材料的雷达波隐身性能,如果选择掺杂适当的材料(如 MWCNTS),甚至还可以宇航材料工艺 2007 年 第 4 期

提高  $8 \sim 15\text{ GHz}$  雷达波吸收性能。这种材料对于毫米波段的影响有待进一步实验研究。就本文实验而言,双层型雷达激光复合隐身材料完全可以做到激光与雷达  $8 \sim 15\text{ GHz}$  的复合隐身。

(2)通过掺杂半导体材料或者导电高聚物的方式可以吸收某一波长的激光,又能吸收某一波段的雷达波。目前证明具有此种性质且实验室实际使用的材料主要包括半导体材料 ITO 和碳纳米管 MWCNTS 等<sup>[9-10]</sup>。因此,兼容型雷达激光复合隐身材料的研究也是实现激光与雷达复合隐身的一条途径。

(3)激光隐身要求目标表面具有的低反射率是平均低反射率,因为尽管激光光束很窄,但在远距离探测时,激光光斑也足够大。所以在保证目标表面具有低平均反射率的前提下,可以允许涂层斑块反射率有大有小,因此可以在雷达材料表面的一部分加覆激光隐身材料,这种分块型的材料也为实现激光与雷达的复合隐身留有很大设计余地。

## 3 结论

$\text{In}_2\text{O}_3$  等金属氧化物为吸收剂的激光隐身涂层在  $2 \sim 18\text{ GHz}$  波段对雷达波近似透明,如果掺杂高价锡离子  $\text{Sn}^{4+}$  和微量的 MWCNTS 能吸收一定的雷达波。利用这些特性,采用涂敷法制备了双层型雷达激光复合隐身材料,在  $1.06\ \mu\text{m}$  处反射率仅为  $0.13\%$ ,比雷达吸波贴片材料的反射率降低了一个数量级, $8 \sim 15\text{ GHz}$  的雷达波反射率小于  $-7.5\text{ dB}$ ,不影响原雷达吸波贴片材料的雷达吸波性能,甚至有所改善。实验证明双层型雷达激光复合隐身材料可以实现雷达与激光的复合隐身。此激光隐身涂层对毫米波段吸波性能的影响有待于进一步研究。

## 参考文献

- 1 邹昌谷,王慧萍,戴建强等.新型激光吸收涂料产品研制与开发.热处理,2002;17(4):21~23
- 2 邓龙江,周佩附,翁小龙.磁性电磁吸波材料的研究现状与进展.见:赵光明主编.2005年功能材料学术年会论文集,第2卷第4期.重庆:功能材料信息,2005:8~10
- 3 王相元,朱航飞.微波暗室吸波材料的分析和设计.微波学报,2000;16(4):389~398
- 4 周建勋,刘世才.红外与激光复合隐身.红外技术,1996;18(5):23~25
- 5 谢国华.红外隐身涂料与雷达吸波材料相容性研究.材料工程,1993;(5):5~7
- 6 王自荣,孙晓泉,余大斌.毫米波与激光复合隐身涂料研究.表面技术,2004;33(2):17~18
- 7 王自荣.激光与雷达复合隐身分析.上海航天,2001;(4):34~37
- 8 胡传忻主编.隐身涂层技术.化学工业出版社,2004:116
- 9 廖宇涛,张兴华.多壁碳纳米管电磁参数的研究和吸波性能模拟.材料导报,2006;20(3):138~140
- 10 王贵兵,刘仓理.芳纶纤维复合材料对激光的吸收特性研究.强激光与粒子束,2003;15(11):1065~1067

(编辑 李洪泉)