

•光电器件与材料•

## 温升对窄带滤光片性能的影响分析

杨旭, 田春雨

(中国电子科技集团公司光电研究院, 天津 300308)

**摘要:**窄带滤光片用于从复合波长的光中分离出某一窄波段的单色光,它是光学成像系统的重要器件之一。随着光学成像技术在各个领域的发展,窄带滤光片也在各个领域被广泛应用。文中以锗(Ge)材料窄带滤光片为例,对温度升高对其性能产生的影响进行了分析,并通过仿真分析和试验比对验证了分析的正确性。

**关键词:**窄带滤光片;温升;透过率

中图分类号:O432.2

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2016)-06-0026-02

## Effect Analysis of Temperature Rising on Narrowband Filter Performance

YANG Xu, TIAN Chun-yu

(Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300308, China)

**Abstract:** Narrowband filter is used to separate monochromatic light in complex wavelength light, which is an important device of optical imaging system. With the development of optical imaging system, narrowband filter is also widely used in various fields. Germanium (Ge) material narrowband filter is taken as an example to analyze the effect of temperature rising on the performance. And analysis is verified through simulation analysis and experiment comparison.

**Key words:** narrowband filter; temperature rising; transmittance

窄带滤光片是一种应用非常广泛的薄膜元件,其主要作用是对光进行光谱选择,用于从复合波长的光中分离出某一窄波段的单色光。它满足一定的带宽、透射率、截止度、温漂、位相和化学稳定性、机械牢固度等特性。窄带滤光片作为滤光和选择谱线的器件,目前其主要应用在光学系统的波长选择中,在天文、化学分析、有害气体分析、颜色测量、间接温度测量、等离子体检测、激光探测、空间探测和光纤通信系统等领域均有应用。

窄带滤光片作为光学成像系统的重要器件,在温度升高变化后,会对其光学性能造成影响。温升可导致窄带滤光片工作波段发生频移,从而降低整个光学系统的通光效率,进而会最终影响探测系统的灵敏度与效能,导致探测系统无法正常探测与提

取目标。

文中主要以红外光学系统中常用的锗(Ge)材料制成的滤光片为例进行研究。

### 1 机理分析

锗(Ge)单晶是一种化学惰性材料,透射光谱范围为 $2 \sim 12 \mu\text{m}$ ,具有硬度高,导热性好,不溶于水等特点,被用做各种红外光学系统的基底材料。

温升对锗(Ge)材料窄带滤光片性能的影响主要表现为两个方面:

(1)温升使锗(Ge)材料窄带滤光片膜系的透射光谱漂移

光学系统表面介质膜温度升高后,会影响膜层

光学厚度,材料折射率也会发生变化,最终表现为滤光片中心波长的漂移。根据F-P型全介质干涉型薄膜滤光片的工作原理,滤光片中心波长为

$$\lambda_c = \frac{2nd}{m} \quad (1)$$

其中, $n$ 为谐振层(谐振腔)的折射率; $d$ 为谐振层的厚度。当温度变化时,谐振层的折射率和光学厚度都发生变化,导致中心波长漂移。

$$\frac{\Delta(nd)}{nd} = \frac{1}{d} \frac{\partial d}{\partial T} \Delta T + \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial T} \Delta T \quad (2)$$

(2)温升使窄带滤光片的材料性能发生变化,造成透过率降低。

锗(Ge)材料透射波段内主要吸收机制是自由载流子(电子和空穴)吸收。根据光吸收理论,吸收系数 $\beta$ 与波长平方和载流子浓度成正比。考虑某一特定波长,吸收系数可表示为

$$\beta = S_e n_o + S_h P_o \quad (3)$$

其中, $n_o$ 和 $P_o$ 是电子和空穴浓度; $S_e$ 和 $S_h$ 分别是电子和空穴对光子的吸收截面,分别可表示为

$$S_e = \frac{e^3 \lambda^2}{2\pi m_e^* n c^3 \mu_e}, S_h = \frac{e^3 \lambda^2}{2\pi m_h^* n c^3 \mu_h} \quad (4)$$

其中, $m_e^*$ 和 $m_h^*$ 为电子和空穴有效质量; $\mu_e$ 和 $\mu_h$ 是电子和空穴迁移率; $n$ 是Ge折射指数; $e$ 是电子电荷; $c$ 是光速。如果把 $S_e$ 和 $S_h$ 作为可以调整的参数以确定吸收系数和电子浓度及空穴浓度的关系,得出 $S_h = 43S_e$ 。空穴对光子的吸收截面要比电子的吸收截面大得多,这也是红外光学系统中用n型Ge的原因。根据半导体理论 $n_o P_o = n_i^2$ , $n_i$ 是本征载流子浓度,只与温度有关, $n_o$ 和 $P_o$ 是平衡时电子浓度和空穴浓度。由公式得出吸收系数为

$$\beta = S_e n_o + \frac{S_h}{n_o} n_i^2 \quad (5)$$

Ge能隙较小( $E_g = 0.7$  eV),温度升高引起自由载流子本征激发,产生的自由载流子浓度可表示为

$$n_i = 4.82 \times 10^{15} T^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{E_g}{kT}} \quad (6)$$

自由载流子数目增加导致吸收增强,因而随温度升高,Ge透过率将会呈下降趋势。

## 2 仿真和试验结果

为进一步验证理论分析的正确性,以温度分别为0℃、20℃、50℃、100℃时为例,利用Macleod仿真软件研究窄带滤光片透射谱性能的变化规律。

如图1所示。从仿真情况看,温度变化主要引起透射峰偏移。温度变化100℃,透射峰漂移量约为50nm,温度升高后,引起的锗(Ge)材料窄带滤光片谱漂移是显著的。

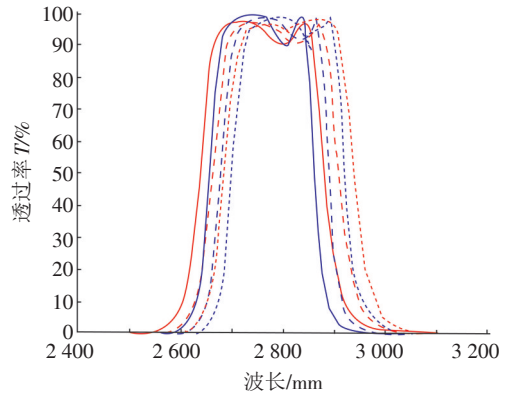


图1 Macleod仿真处理图

在温度试验箱中放置窄带滤光片,使用能量计测量锗(Ge)材料滤光片前后激光(10.6 μm)能量变化。温度设置为50℃~150℃,其透过率与温度关系如图2所示。当温度达到70℃以上时,透过率变化率明显加剧,继续升温至150℃,透过率降至10%左右。可见Ge滤光片透过率随温度升高下降显著。

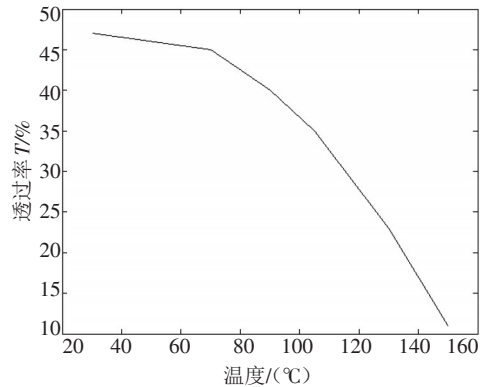


图2 锗(Ge)材料滤光片透过率的温度变化曲线

## 3 结论

对窄带滤光片在高温变化的使用性能进行了分析,温度的升高变化对窄带滤光片的影响是显而易见的,当窄带滤光片温度达到70℃时,透过率下降明显。未来工作还将对窄带滤光片低温时的使

(下转第69页)

时,在检测开始之前还可以通过校准模块进行通用测试维修系统的校准。

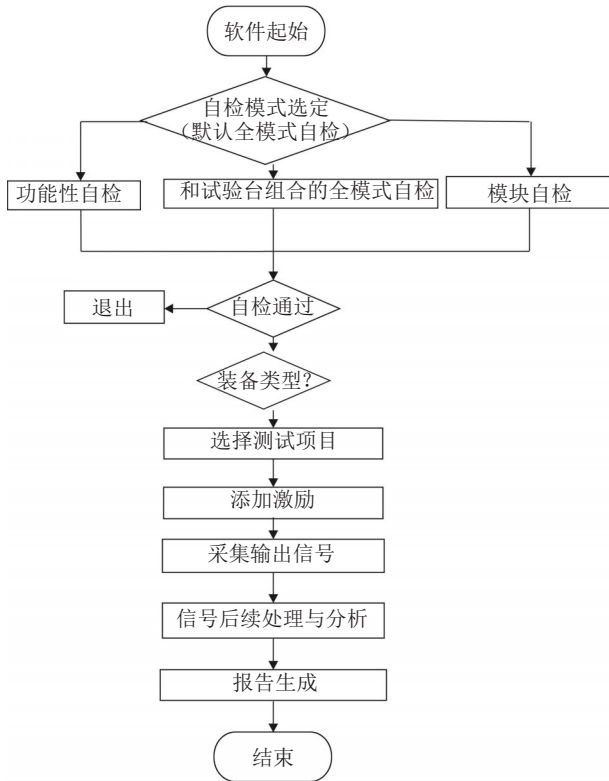


图4 软件流程图

### 3.3 软件系统的开放性设计

为了满足用户对软件扩充性的要求,软件系统在完成以上各个软件模块的同时,在主控模块中为用户留有功能扩展菜单。为了实现扩充性又不破

坏原有软件系统的整体性,功能扩展菜单的设计为动态加载菜单,可由用户自己生成,并与新的功能模块相关联,从而实现整个软件系统功能的扩充。

## 4 结论

为确保车载观瞄装备的正常使用,对观瞄装备进行各项光电性能检测是十分重要的。系统以通用检测平台为核心,通过硬件及软件设计,实现了车载观瞄装备通用检测维修系统。该检测系统在不对被测观瞄装备光电性能产生影响的前提下,实现了对被测观瞄装备的光学性能、光电性能等技术指标的全面化系统化测试,提高了检测精度和效率。在通用检测维修系统的设计过程中自始至终贯彻了测试通用化、集成化、模块化的理念,同时充分考虑了系统的易用性和可维护性。

### 参考文献

- [1] 贲春雨. 大尺寸直径非接触光电检测系统研究[J]. 仪器仪表学报, 2006, 1(2): 71-74.
  - [2] 刘有贵, 闫钰锋, 冯利, 等. 火箭炮摇架水平平台与基准管轴线一致性光电检测系统研究[J]. 兵工学报, 2008(2).
  - [3] 郑文学. 仪器精度设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1992.
  - [4] 高稚允. 光电检测技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1995.
  - [5] 秦积荣. 光电检测原理及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1989.
  - [6] 张毅刚. 虚拟仪器软件开发环境编程指南[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- (上接第27页)
- 用性能进行试验分析。在设计光学系统时,应充分考虑环境温度对系统使用性能的影响,需对窄带滤光片进行隔温、降温处理,以此达到更理想的使用效能。
- [1] 姚李英, 金永浩, 劭建达, 等. 超宽超窄矩形带通滤光片的设计[J]. 光学仪器, 2001, 23: 5-6.
  - [2] 朱华新, 高劲松, 王彤彤, 等. 宽截止窄带滤光片设计[J]. 红外技术, 2010, 32(9): 532-534.
  - [3] 唐晋发, 顾培夫, 刘旭, 等. 现代光学薄膜技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2006.
  - [4] WANG Li, SHANG Xiao-xing, WANG Ying. Development of low-light level night vision[J]. Laser & Opto-electronics Progress, 2008, 45(3): 56-60.
  - [5] JIN Xin. Dye Chemistry[M]. Beijing: China Textile & Apparel Press, 2009.
  - [6] Michael R Jones, Albert N Stuppi. Dye-based filter [P]. United States Patent, 7081991-B2.