光电器件

DOI：10.16818/j.issn1001－5868.2020.06.012

# 基于光学干涉法的翻新电子元器件鉴别方法

温景超*，吴立强，赵彦飞，于 望
（中国运载火箭技术研究院，北京 100076）

**摘 要：** 翻新电子元器件存在重大质量隐患，对航天装备的质量和安全构成了严重威胁。为了确保装机电子元器件的质量和可靠性，结合翻新元器件的特点，提出了一种鉴别翻新元器件的无损检测方法。首先，阐述了翻新元器件的检测方法和原理，即通过光学干涉法定量测量器件上下表面的粗糙度，并根据二者之间的差异来判断器件表面是否经过翻新处理。然后，采用该方法对正常元器件和翻新元器件的表面粗糙度差异进行对比检测分析，并进行不确定度评定。结果表明，该方法可用于对翻新元器件进行高效准确鉴别。这为全面提升航天电子元器件的质量提供了新的检测手段。

**关键词：** 翻新元器件；鉴别方法；表面粗糙度；光学干涉法；无损检测
**中图分类号：** TN306 **文章编号：** 1001－5868(2020)06－0822－05

## Identification Method of Refurbished Electronic Components Based on Optical Interferometry

WEN Jingchao, WU Liqiang, ZHAO Yanfei, YU Wang
(China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, CHN)

**Abstract:** Refurbished electronic components present serious potential quality problems, which will pose serious threats to the quality and safety of space equipments. In order to ensure the quality and reliability of installed electronic components, a nondestructive measurement method is proposed for identifying refurbished components based on their characteristics. Firstly, the measurement methods and principles are described: the roughness of both the top and the bottom surfaces of the device is measured quantitatively by optical interferometry, and then the difference between the two roughness values will be used to judge whether the surface of the device was refurbished or not. Lastly, the surface roughness of the normal and refurbished components is compared and analyzed, and the uncertainty evaluation is carried out. It is shown that this method can be used to identify refurbished components efficiently and accurately. It provides a new measurement method for improving the quality of aerospace electronic components.

**Key words:** refurbished components; identification method; surface roughness; optical interferometry; nondestructive measurement

## 0 引言

近年来，国产电子元器件的发展取得了重大突破，但航天用电子元器件尚未实现百分百自主可控，部分大规模或超大规模集成电路依然需要进口。受供货渠道影响以及商业利益的驱动，越来越多的翻新进口元器件进入军用产品供应链[1-3]。由于翻新元器件一般为淘汰的、使用过的、低质量等级的或是制造过程中的废次品、假冒品，其潜在的过电损伤、芯片腐蚀、芯片微损伤等质量风险无法通过检验或

收稿日期：2020－08－03.
* 通信作者：温景超
E-mail：wenjingchao521@163.com

筛选的手段进行有效剔除[4-5]，装机后可能会导致整机故障，严重影响航天装备的质量和可靠性。因此，对进口元器件进行真伪鉴别是航天电子元器件质量保证过程中不可或缺的重要环节。

目前，航天系统内元器件质量保证机构已经针对翻新元器件的鉴别方法和手段开展了大量的研究工作，并通过工程实践取得了良好效果。其中，普遍采取的方法主要有[6-7]：(1)翻新痕迹检查。借助显微镜对元器件的引脚、表面边缘、表面纹理、定位环等进行检查，以确定是否存在使用痕迹或打磨痕迹。(2)信息比对分析。通过外观检查、X 射线检查、超声检查、芯片镜检等手段来获取元器件的外观标识、结构工艺、芯片版图等信息，并与原厂正常器件进行差异比对分析。实践证明，这些方法只能实现检测结果的定性表征，过多依赖于检验人员的经验和技术，存在漏检风险。为此，本文在上述方法的基础上提出了一种新方法——基于光学干涉技术测量元器件表面粗糙度的方法，具有无损、定量的优点，可实现对进口翻新元器件的快速识别和分析，对提高航天用进口元器件的质量和可靠性具有重要意义。

# 1　机理分析与测量方法

## 1.1　机理分析

翻新元器件通常是将淘汰品、拆机件、废次品或低等级产品经过表面研磨、喷涂以及打标处理后作为新品重新投入使用。对于塑封器件来说，打磨几乎是翻新元器件所必须的工序[8]，此外还需要进行喷涂处理，其目的主要是为了改变元器件表面的原有标识。由于打磨和喷涂一般发生在元器件上表面，经过打磨或者喷涂的元器件，其上表面粗糙度会发生变化，从而导致元器件上下表面粗糙度不一致。因此，可将上下表面粗糙度差异作为鉴别翻新元器件的重要特征。

表面粗糙度是反映工件表面微观几何形状偏差的一个重要指标[9]。用于表征表面粗糙度的参数有很多，其中最常用的是粗糙度轮廓的算术平均值 $R_a$ 和均方根值 $R_q$。$R_a$ 是指在一个取样长度内纵坐标 $Z(x)$ 绝对值的算术平均值，$R_q$ 是在一个取样长度内纵坐标 $Z(x)$ 的均方根值，表达式分别为[10]

$$R_a=\frac{1}{l}\int_0^l|Z(x)|\,\mathrm{d}x \tag{1}$$

$$R_q=\sqrt{\frac{1}{l}\int_0^l Z^2(x)\,\mathrm{d}x} \tag{2}$$

其中，$l$ 为取样长度，$Z(x)$ 为表面粗糙度轮廓的纵坐标曲线函数，如图 1 所示。

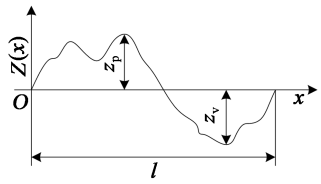



图 1　表面粗糙度轮廓坐标示意图

## 1.2　测量方法选取

常用的表面粗糙度测量方法有比较法、针描法、光学干涉法等。其中，比较法和针描法属于接触式测量方法，光学干涉法属于非接触式测量法，具有快速、无损、可在线测量等优点，弥补了传统接触测量方法的不足，在小尺寸平面以及小尺寸曲面测量方面优势明显[11]。对于电子元器件来说，其外形尺寸较小且对表面粗糙度的测量精度要求较高，故选取光学干涉法对元器件的表面粗糙度进行测量。

采用光学干涉法测量元器件表面粗糙度的原理如图 2 所示。由光源发出的光束经过滤波器后由分光镜分成两束，其中一束由参考表面反射回来，另一束由被测工件表面反射。两束光因存在光程差而发生干涉，经过显微物镜放大后在成像平面上形成干涉图像，并被 CCD 传感器接收。当压电驱动器驱动显微物镜在垂直方向进行扫描时，两束光的光程差发生改变，导致干涉图像也随之改变。被测工件的表面粗糙度轮廓信息被编码到干涉条纹图像的强度、光谱成分及对比度等信息中，从而利用光学干涉条纹的特殊性质来进行表面微观形貌的测量[11]。

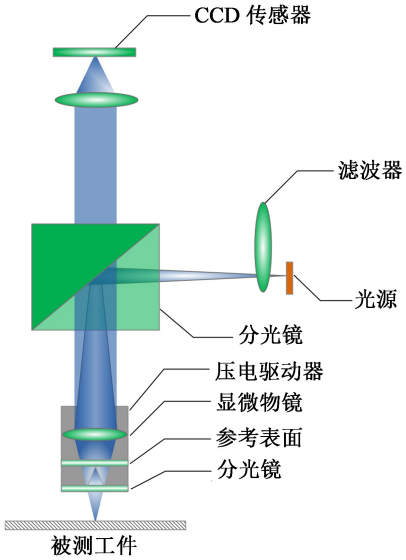



图 2　光学干涉法测量表面粗糙度原理示意图

## 2 实验结果分析与讨论

### 2.1 实验条件选取

实验样品选取 14 只进口塑封集成电路，其中包括 7 只正常器件（编号为 n1～n7）和 7 只已知翻新器件（编号为 r1～r7）。器件表面粗糙度测量选取瑞士 TRIMOS 公司的 TR-SCAN 微观形貌测量仪，其测量精度高达纳米级。

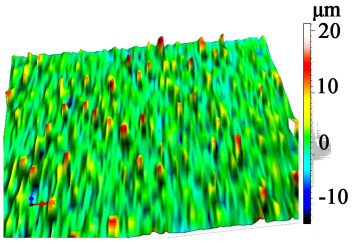
样品器件正反面均为黑色，反光能力较差，因此测量结果选取三次测量结果的平均值。由于芯片尺寸较小且表面有标识，为不影响测量结果，在测量时需要避开器件表面标识和定位孔位置，测量长度根据实际情况选择 1.24 mm，高斯滤波为 0.25 mm。

### 2.2 器件表面粗糙度测量

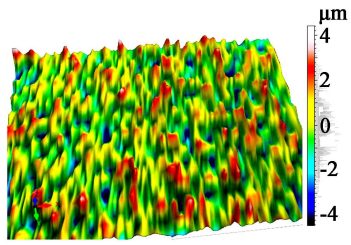
选择 1 只翻新器件（编号为 r7），测量其上表面和下表面的粗糙度，已知该器件上表面经过打磨和喷涂处理。图 3 为测量的器件上表面和下表面三维图像，可以看出，器件上表面和下表面的粗糙度轮廓明显存在差异，其中下表面粗糙度轮廓纵坐标在 −4～+4 μm 之间，而上表面粗糙度轮廓纵坐标在 −10～+20 μm 之间，这说明上表面比下表面粗糙。图 4 为测量的器件上表面和下表面二维轮廓曲线。通过曲线可以提取出 $R_q$，$R_v$，$R_z$，$R_c$ 等多个反映器件表面粗糙度的参数值，如表 1 所示。其中算术平均值 $R_a$ 和均方根值 $R_q$ 能更好地反映粗糙度的整体水平，$R_a$ 和 $R_q$ 的值越大，说明器件表面越粗糙。通过测量的 $R_a$ 值和 $R_q$ 值可以看出，器件上表面粗糙度明显大于表面粗糙度，结果与三维图像中反映的现象一致。

**表 1 器件表面粗糙度测量结果 单位：μm**

| 参数 | 上表面 | 下表面 |
|---|---|---|
| $R_p$ | 7.845 | 1.955 |
| $R_v$ | 4.628 | 1.780 |
| $R_z$ | 12.47 | 3.734 |
| $R_c$ | 7.125 | 2.724 |
| $R_t$ | 17.28 | 5.337 |
| $R_a$ | 1.764 | 0.951 3 |
| $R_q$ | 2.685 | 0.966 6 |
| $R_{sk}$ | 1.222 | 0.057 79 |
| $R_{ku}$ | 5.138 | 2.614 |

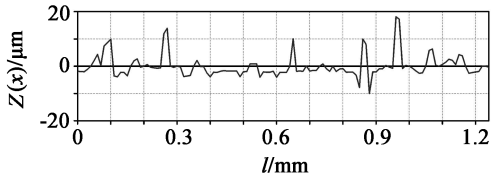



（a） 上表面

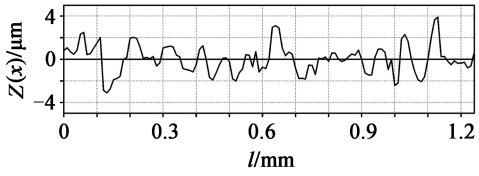



（b） 下表面

图 3 器件表面三维图像




（a） 上表面




（b） 下表面

图 4 器件表面二维轮廓曲线

### 2.3 测量结果分析

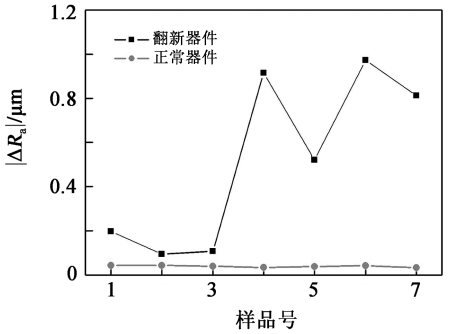
对 14 只样品器件上下表面的 $R_a$ 和 $R_q$ 值进行测试和分析，测试结果如表 2 所示。表中 $R_{a\text{-}T}$，$R_{a\text{-}B}$ 分别为器件上表面和下表面的粗糙度算术平均值，$R_{q\text{-}T}$，$R_{q\text{-}B}$ 分别为器件上表面和下表面的粗糙度均方根植。从表中可以看出，7 只正常器件的上表面粗糙度算术平均值和均方根植与下表面差异均较小，其中 4 只器件上表面粗糙度比下表面小，3 只器件上表面粗糙度比下表面大，该差异主要是由测试误差、仪器精度等因素引起的；7 只翻新器件的上表面粗糙度算术平均值和均方根植与下表面差异相对较大，其中 6 只器件的上表面粗糙度比下表面大，1 只器件的上表面粗糙度比下表面小。这说明，器件经过打磨处理后，上表面粗糙度既可能比原来小，也可能比原来大，具体情况取决于翻新打磨工艺的水平，但经过打磨的元器件很难保持原有的粗糙度。

将翻新器件的上下表面粗糙度差异与正常器件进行对比，图 5(a)和(b)分别为翻新器件和正常器件的上下表面粗糙度 $R_a$ 差异绝对值（$|\Delta R_a|$）和 $R_q$

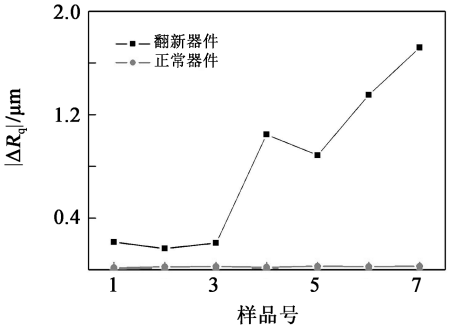
差异绝对值($|\Delta R_q|$)。从图中可以看出，正常器件上下表面粗糙度差异均维持在一个相对稳定的水平，$|\Delta R_a|$ 为 33.6～44 nm，$|\Delta R_q|$ 为 0.015～0.027 nm，差异水平接近于测量仪器的测试精度；翻新器件上下表面粗糙度差异比较明显，$|\Delta R_a|$ 最小为 95.5 nm，最大达到了 973.4 nm，$|\Delta R_q|$ 最小为 165.4 nm，最大达到了 1 718.4 nm。综上分析，可以根据器件上下表面粗糙度差异大小来判断器件是否为翻新器件。

**表 2　正常器件和翻新器件的表面粗糙度**　　**单位：μm**

| 编号 | 正常器件 | | | | 翻新器件 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $R_{a\text{-}T}$ | $R_{a\text{-}B}$ | $R_{q\text{-}T}$ | $R_{q\text{-}B}$ | $R_{a\text{-}T}$ | $R_{a\text{-}B}$ | $R_{q\text{-}T}$ | $R_{q\text{-}B}$ |
| n1/r1 | 1.840 | 1.884 | 2.300 | 2.315 | 0.938 8 | 0.740 9 | 1.219 | 1.007 |
| n2/r2 | 1.506 | 1.550 | 2.107 | 2.130 | 0.763 0 | 0.667 5 | 1.085 | 0.919 6 |
| n3/r3 | 0.755 1 | 0.719 4 | 0.907 5 | 0.882 7 | 0.798 1 | 0.689 9 | 1.046 | 0.839 7 |
| n4/r4 | 0.693 1 | 0.657 9 | 0.921 3 | 0.901 2 | 1.031 | 1.946 | 1.377 | 2.422 |
| n5/r5 | 0.983 8 | 0.945 7 | 1.275 | 1.249 | 1.513 | 0.991 5 | 2.102 | 1.215 |
| n6/r6 | 0.631 6 | 0.673 8 | 0.789 6 | 0.813 9 | 1.808 | 0.834 6 | 2.355 | 1.001 |
| n7/r7 | 0.854 9 | 0.879 5 | 1.124 | 1.151 | 1.764 | 0.951 3 | 2.685 | 0.966 6 |




(a)　$|\Delta R_a|$




(b)　$|\Delta R_q|$

图 5　翻新和正常器件的上下表面粗糙度差异绝对值$|\Delta R_a|$和$|\Delta R_q|$

## 2.4　测量的不确定度评定

以样品器件(编号 r7)的 $R_a$ 测量结果为例，对器件表面粗糙度测量的不确定度进行评定。

(1)来源分析

在对器件的表面粗糙度进行测试时，测量的不确定度主要取决于测试的重复性和测试仪器的不准确性。

(2)标准不确定度分量计算

测量仪器采样的位置不同会对测量结果的重复性产生影响，采用不确定度的 A 类评定。首先，使用测量仪器对器件表面粗糙度进行重复测量 10 次，测量结果如表 3 所示，用 10 次测量结果的实验标准偏差表征 A 类标准不确定度。在实际测量过程中，测量结果一般取 3 次测量的平均值，其标准不确定度分量 $u_A(C)$ 计算如下：

$$u_A(C)=\frac{S(C)}{\sqrt{n}}=\frac{0.014\,7}{\sqrt{3}}=0.008\,5 \tag{3}$$

其中，$u_A(C)$ 为测试重复性引入的不确定度分量，$S(C)$ 为实验标准偏差，$n$ 为测量次数。那么，其相对标准不确定度分量为

$$u_{Arel}(C)=\frac{u(C)}{\bar{R}_a}\times 100\%=0.49\% \tag{4}$$

测试仪器不准确产生的标准不确定度采用不确定度的 B 类评定。该仪器的最大误差为 5%，根据均匀分布计算其相对标准不确定度分量：

$$u_{Brel}(C)=\frac{5\%}{\sqrt{3}}\times 100\%=2.89\% \tag{5}$$

(3)合成标准不确定度计算

合成标准不确定度的计算公式[11]为

$$u_C^2=[C(C)\times u_{Arel}(C)]^2+[C(C)\times u_{Brel}(C)]^2 \tag{6}$$

式中，$C(C)=1$，为输入量 $C$ 的灵敏系数。根据式(6)计算合成的相对不确定度为

$$u_C=\sqrt{(1\times 0.49)^2+(1\times 2.89)^2}\,\%=2.93\%$$

(4)扩展相对不确定度计算

扩展相对不确定度的计算公式为

$$U=ku_C \tag{7}$$

式中，$k$ 为包含因子。取 $k=2$，则置信概率 $p=$

95%，可以得出：

$$U = 2 \times 2.93\% = 5.86\%$$

扩展相对不确定度的评定结果为5.86%，小于10%，利用光学干涉法测量器件的表面粗糙度满足精度要求。因此，通过光学干涉法测量元器件上下表面粗糙度差异来对翻新元器件进行鉴别具有实际意义。

**表3 测量结果和实验标准偏差**

| 实验编号 | $C/\mu$m |
|---|---|
| 1 | 1.749 |
| 2 | 1.768 |
| 3 | 1.727 |
| 4 | 1.735 |
| 5 | 1.746 |
| 6 | 1.751 |
| 7 | 1.764 |
| 8 | 1.732 |
| 9 | 1.759 |
| 10 | 1.724 |
| 平均值 $\bar{R}_a$ | 1.746 |
| $S(C)$ | 0.014 7 |

## 3 结论

电子元器件经过翻新处理后，其上下表面粗糙度会存在明显差异。基于该特点，利用光学干涉法测量器件上表面和下表面的粗糙度，通过分析二者之间的差异来鉴别器件是否经过翻新处理。算术平均值 $R_a$ 和均方根值 $R_q$ 作为表征器件表面粗糙度的重要参数，经过对测量结果进行不确定度评定，得出其扩展相对不确定度小于10%，满足实际测量精度需求。该检测方法具有定量、无损、高效等优点，可用于鉴别翻新电子元器件，对于提高航天电子元器件的质量控制水平，进而确保航天装备的质量和可靠性具有重要意义。

**参考文献：**


[1] 胡开博，张 倩，杨志维. 美军伪冒电子元器件问题现状及对策[J]. 全球科技经济瞭望，2014，29(4)：21-26.
Hu K B，Zhang Q，Yang Z W. Issue of counterfeit electronic component in the United States and its countermeasures[J]. Global Science，Technology and Economy Outlook，2014，29(4)：21-26.

[2] 张 倩. 封装形式对电子元器件长期储存可靠性研究[J]. 电子元件与材料，2017，36(6)：99-104.
Zhang Q. Reliability study of long-term storage for electronic component packaging [J]. Electronic Components and Materials，2017，36(6)：99-104.

[3] 周 帅，彭泽亚. 假冒翻新塑封器件鉴别的方法和程序[J]. 中国测试，2015(S1)：120-123.
Zhou S，Peng Z Y. Methods and procedures to identify counterfeit and refurbished devices in plastic package[J]. China Measurement & Test，2015(S1)：120-123.

[4] 魏爱新. 假冒钽电容辨识[J]. 电子元件与材料，2014，33(2)：71-75.
Wei A X. Recognition for counterfeit Ta-capacitor [J]. Electronic Components and Materials，2014，33(2)：71-75.

[5] Stradley J，Karraker D. The electronic part supply chain and risks of counterfeit parts in defense applications[J]. IEEE Trans. on Components and Packaging Technologies，2006，29(3)：703-705.

[6] 高金环. 翻新伪造电子元器件的鉴别[J]. 电子科技，2014，27(8)：50-56.
Gao J H. Discrimination of counterfeit imported electronic parts [J]. Electronic Science and Technology，2014，27(8)：50-56.

[7] 刘 平. 假冒电子元器件的识别与分析[J]. 电子元件与材料，2012，31(2)：59-60.
Liu P. Identification and analysis on counterfeit electronic components[J]. Electronic Components and Materials，2012，31(2)：59-60.

[8] 杨 城，张 吉，马清桃，等. 基于封装工艺识别翻新塑封集成电路[J]. 电子与封装，2013，13(10)：5-9.
Yang C，Zhang J，Ma Q T，et al. Detect the remark plastic ICs on the basis of packing technology[J]. Electronics & Packing，2013，13(10)：5-9.

[9] 刘 晨，卢荣胜，陈 磊，等. 基于光学法表面粗糙度的测量研究进展[J]. 半导体光电，2010，31(4)：495-500.
Liu C，Lu R S，Chen L，et al. Progress of surface roughness measurement based on optical method [J]. Semiconductor Optoelectronics，2010，31(4)：495-500.

[10] 全国产品尺寸和几何技术规范标准化技术委员会. GB/T 3505-2009 产品几何计数规范(GPS)表面结构轮廓法术语定义及表面结构参数[S]. 北京：中国标准出版社，2009.
CSBTS/TC240. GB/T 3505-2009 Geometrical product specifications(GPS)—Surface texture：profile method-terms，definitions and surface texture parameters [S]. Beijing：Standards Press of China，2009.

[11] 刘姗姗，刘大亮，刘兆宾，等. 光学干涉法在航天阀门产品表面粗糙度测量中的应用[J]. 制造技术与机床，2017(3)：116-120.
Liu S S，Liu D L，Liu Z B，et al. Application of optical interferometry in surface roughness measurement of aerospace valve products [J]. Manufacturing Technology & Machine Tool，2017(3)：116-120.


**作者简介：**


**温景超**(1985—)，男，河北人，硕士，高级工程师，从事航天元器件质量保证和可靠性研究工作。